计算机辅助分析（CAE）系列

Pro/ENGINEER Wildfire 5.0

动力学与有限元分析从入门到精通

三维书屋工作室

乔建军　王保平　胡仁喜　等编著





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

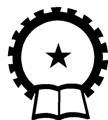
VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Pro / Engineer Wildfire 5.0
动力学与有限元分析从入门到精通

三维书屋工作室

乔建军　王保平　胡仁喜　等编著



机械工业出版社

本书涵盖了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 的 Mechanism（运动/动力学仿真技术）、Mechanica（有限元分析技术）两大模块，介绍了动力学分析、动画制作、结构分析和热力学分析模型的创建及分析过程。根据由浅入深、前后呼应的教学原则进行内容安排，从而使读者能更快、更深入地理解 Pro / ENGINEER Wildfire 5.0 软件中的一些抽象概念、复杂命令和功能，并对运用该软件进行产品分析的过程有全面的了解。本书第 1 章介绍了使用该软件进行分析的 3 种模式：FEM 模式、集成模式和独立模式，重点以集成模式为讲解对象，介绍了机构动力学和有限元分析。第 2 章～第 5 章介绍了动力学分析模块的建立和环境的设置、动力学分析和动画制作等。第 6 章～第 9 章介绍了机构结构分析和热力学分析模型的建立及分析过程。每个知识点都使用了命令讲解结合具体实例的方法，可以在学习软件操作的同时通过实例练习来迅速掌握相关知识。每部分都有综合实例练习，通过学习的知识，更加快速有效地掌握软件的使用。

本书的特点是详细介绍了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 中各种工具命令的使用方法，突出了工具命令的操作方法，使用大量实例阐述工具命令的使用方法和相关的知识和技巧。本书可作为机械设计技术人员学习基于 Pro / Engineer Wildfire 5.0 进行机械结构有限元分析的入门与实践的书籍，也可作为大专院校机械类专业学生的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 动力学与有限元分析从入门到精通/乔建军等编著.—北京：机械工业出版社，2010.1（2013.4 重印）
ISBN 978 -7 -111 -29405 -4

Ⅰ.P… Ⅱ.乔… Ⅲ.①动力学分析—应用软件，Pro/ENGINEER Wildfire 5.0②有限元分析—应用软件，Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 Ⅳ.0655.9 0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 240515 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑：曲彩云 责任印制：杨 曦
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2013 年 4 月第 1 版第 4 次印刷
184mm×260mm ·23 印张·568 千字
5501—7000 册
标准书号：ISBN 978 -7 -111 -29405 -4
ISBN 978 -7 -89451 -390 -8（光盘）
定价：56.00 元（含 1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	策划编辑：(010)88379782
社服务中心 ：(010)88361066	网络服务
销 售 一 部 ：(010)68326294	门户网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部 ：(010)88379649	教材网：http://www.cmpedu.com
读者购书热线：(010)88379203	封面无防伪标均为盗版

前　言

Pro / Engineer 是基于单一数据库、参数化、特征、全相关及工程数据再利用等概念的基础上开发出的一个功能强大的 CAD / CAE / CAM 软件，它能将产品从设计到生产加工的过程集成在一起，让所有用户同时进行同一产品的设计与制造工作。它是 3D 产品设计的行业标准。作为业界领先的生产效率工具，它促进用户采用最佳设计做法，同时确保遵守业界和公司的标准。集成的参数化 3D CAD/CAM/CAE 解决方案可让设计速度比以前快，同时最大限度地增强创新力度并提高质量，最终创造出不同凡响的产品。

本书基本涵盖了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 动力学分析、机构分析两大部分。从基本操作到模型建立、从概念到综合实例、从分析到优化设计的编制，讲述了模块中各工具的操作方法、使用步骤和基本功能。在每章的最后，以实例的形式进一步巩固所学基本工具的使用。本书最后以两个典型实例（二级减速器、活塞连杆机构）讲解了使用 Pro / Engineer Wildfire 5.0 进行工程分析的设计过程。本书的特点主要体现在以下几个方面：

- 编排采用循序渐进的方式，适合初、中、高级读者逐步掌握 Pro / Engineer Wildfire 5.0 软件使用的基本操作方法进行产品分析和优化设计的精髓。
- 以知识点为介绍单元，通过概念、操作方法、经典实例，透彻地剖析每个知识点，让读者深切掌握每个知识点。
- 采用了浅显易懂的例子，容易上手操作。每个例子讲解步骤简单全面，易于理解。
- 对关键性的技巧以“注意”提醒读者，减少不必要的时间和精力去琢磨和研究它。
- 内容翔实，选例典型，针对性强，叙述言简意赅、清晰流畅、讲解透彻，能使读者快速掌握 Pro / Engineer Wildfire 5.0 动力学分析、机构分析模块的应用要领。
- 结合内容在光盘中配置了大量实例源文件，以及相关的视频讲解内容，对书中的各个重要实例进行针对性讲解，便于读者掌握实例操作的流程和技巧

本书共分为 3 篇 11 章，第 1 篇（第 1~5 章）机构动力学分析。讲述了 Pro / Engineer Wildfire 5.0 软件进行动力学和有限元分析的三种模式、动力学分析模块的介绍、建立运动模型及设置运动环境、动力学分析和动画制作等基础知识；第 2 篇（第 6~9 章）结构与热力学分析。介绍了结构分析模块、建立机构分析模型的方法步骤、机构各种结构分析以及热力学分析等内容。讲述了静态分析、模态分析、失稳分析、疲劳分析、预应力分析、动态分析以及敏感度分析、优化设计等；第 3 篇（第 10 章、第 11 章）综合实例。以最常见的二级减速器、活塞连杆机构为例，讲述了动力学和结构分析创建过程，巩固各模块中常见工具的使用方法和技巧，通过举一反三，让读者具有独立完成项目分析设计的能力。

本书由三维书屋工作室策划，主要由大同电力机车有限责任公司的乔建军老师、广东白云学院的王保平老师和军械工程学院的胡仁喜老师编写，同时参加编写的还有王义发、谷德桥、张俊生、阳平华、周冰、董伟、王兵学、王渊峰、郑长松、王敏、王艳池、李瑞、周广芬、李鹏、陈丽芹、王玉秋、李世强、王佩楷、袁涛、王培合、刘昌丽、康士廷、熊慧、张日晶、路纯红等。由于编者水平有限，时间仓促，难免有欠缺之处。竭诚欢迎广大读者登录网站www.bjsanweishuwu.com发电子邮件到编者的电子信箱：win760520@126.com，对本书提出批评和建议，以方便作进一步的修改。

作　者

目　录

前言

第 1 篇　机构动力学分析

第 1 章　动力学与有限元分析概述 2
1.1　机构的工作模式 2
1.1.1　FEM模式 3
1.1.2　集成模式 3
1.1.3　独立模式 3
1.2　Pro/Engineer Mechanica的安装 4
第 2 章　动力学分析 6
2.1　机构模块介绍 6
2.1.1　机构模块简介 6
2.1.2　运动学分析流程 6
2.1.3　动力学分析流程 7
2.2　机构工作台 8
2.3　菜单栏介绍 10
2.3.1　文件（F）菜单 10
2.3.2　编辑（E）菜单 13
2.3.3　视图菜单 16
2.3.4　插入菜单 18
2.3.5　分析菜单 18
2.3.6　信息菜单 18
2.3.7　应用程序菜单 20
2.3.8　工具菜单栏 21
2.4　工具栏 21
2.4.1　机构工具栏 21
2.4.2　模型工具栏 22
2.4.3　动态工具栏 22
2.4.4　运动工具栏 23
2.5　结构树 23
2.5.1　模型树 23
2.5.2　机构树 24
第 3 章　建立运动模型及设置运动环境 25
3.1　建立常规连接 25
3.1.1　刚性连接 26
3.1.2　销钉连接 26
3.1.3　滑动杆连接 27

3.1.4 圆柱连接 28
3.1.5 平面连接 29
3.1.6 球连接 30
3.1.7 轴承连接 30
3.1.8 焊缝连接 31
3.1.9 一般连接 32
3.1.10 6DOF连接 33
3.1.11 槽连接 34
3.2 建立特殊连接 35
3.2.1 凸轮连接 35
3.2.2 3D接触连接 40
3.2.3 齿轮连接 41
3.2.4 传动带连接 46
3.3 调节连接方式 50
3.4 定义运动机构 51
3.5 拖动和快照 52
3.6 定义伺服电动机 55
3.7 设置运动环境 62
3.7.1 定义重力 63
3.7.2 定义执行电动机 64
3.7.3 定义弹簧 64
3.7.4 创建阻尼器 67
3.7.5 创建力/力矩 68
3.7.6 定义初始条件 71
3.8 定义质量属性 72
3.9 术语表 73
第 4 章 机构动力学分析 75
4.1 机构分析 75
4.1.1 位置分析 76
4.1.2 运动学分析 77
4.1.3 动态分析 78
4.1.4 静态分析 82
4.1.5 力平滑分析 84
4.2 分析结果 87
4.2.1 回放 87
4.2.2 测量 90
4.2.3 轨迹曲线 94
4.3 常规机构仿真 96
4.3.1 连杆机构 96

4.3.2　凸轮机构 102
4.3.3　齿轮机构 106
第 5 章　动画制作 111
5.1　动画制作概述 111
5.1.1　进入动画制作模块 111
5.1.2　动画制作菜单栏介绍 112
5.1.3　动画制作工具栏 112
5.2　定义动画 112
5.2.1　创建动画 113
5.2.2　动画显示 115
5.2.3　定义主体 115
5.3　动画制作 116
5.3.1　关键帧排序 116
5.3.2　事件 117
5.3.3　锁定主体 118
5.3.4　创建电动机 119
5.3.5　连接状态 119
5.3.6　定时视图 120
5.3.7　定时透明视图 120
5.3.8　定时显示 121
5.3.9　编辑和移除对象 121
5.4　生成动画 12
5.4.1　启动动画 122
5.4.2　回放 122
5.4.3　输出动画 122

第 2 篇　结构与热力学分析

第 6 章　结构分析概述 124
6.1　结构分析模块 125
6.1.1　结构分析模块简介 125
6.1.2　分析流程 126
6.2　结构分析工作台 134
6.3　菜单栏 134
6.3.1　“文件”菜单 134
6.3.2　“编辑”菜单 135
6.3.3　“插入”菜单 135
6.3.4　“属性”菜单 136
6.3.5　“AutoGEM”菜单 136
6.3.6　“分析”菜单 136

6.4 工具栏 137
第 7 章 建立结构分析模型 138
7.1 简化模型 138
7.2 创建载荷 138
7.2.1 创建载荷集 139
7.2.2 创建力/力矩载荷 140
7.2.3 创建压力载荷 143
7.2.4 创建承载载荷 148
7.2.5 创建重力载荷 150
7.2.6 创建离心载荷 152
7.2.7 创建温度载荷 154
7.3 创建约束 155
7.3.1 创建约束集 156
7.3.2 创建位移约束 157
7.3.3 创建平面约束 160
7.3.4 创建销钉约束 161
7.3.5 创建球约束 162
7.3.6 创建对称约束 164
7.4 理想化模型 167
7.4.1 创建壳 167
7.4.2 创建梁 172
7.4.3 创建弹簧 179
7.4.4 创建质量 182
7.5 创建连接 184
7.5.1 创建界面 185
7.5.2 创建焊接 186
7.5.3 创建刚性连接 189
7.5.4 创建受力连接 192
7.5.5 创建紧固件连接 193
7.6 材料 195
7.6.1 定义材料 195
7.6.2 创建材料方向 197
7.6.3 分配材料 198
7.7 创建模拟测量 200
7.8 网格划分 201
7.9 创建曲面区域和体积块区域 205
7.9.1 创建曲面区域 205
7.9.2 创建体积 207
7.10 显示控制 211

第 8 章 结构分析 213
8.1 分析的类型 213
8.2 建立结构分析 215
8.2.1 静态分析 215
8.2.2 模态分析 223
8.2.3 失稳分析 227
8.2.4 疲劳分析 229
8.2.5 预应力静态分析 237
8.2.6 预应力模态分析 241
8.3 动态分析 245
8.3.1 动态时域分析 245
8.3.2 动态频域分析 252
8.3.3 动态冲击分析 256
8.3.4 动态随机分析 258
8.4 设计研究 261
8.4.1 标准设计研究 261
8.4.2 敏感度设计研究 264
8.4.3 优化设计研究 270
8.5 电动机吊座的结构分析 274
8.5.1 创建模型 274
8.5.2 建立分析模型 277
8.5.3 结构分析 278
8.5.4 优化设计 285
8.5.5 升级零件 286
第 9 章 热力学分析 288
9.1 热力学分析概述 288
9.1.1 进入热力学分析 288
9.1.2 操作平台介绍 288
9.1.3 分析流程 289
9.2 创建热力载荷 290
9.2.1 创建载荷集 290
9.2.2 创建热力载荷 291
9.3 创建边界条件 293
9.3.1 创建边界条件集 293
9.3.2 创建规定温度 294
9.3.3 创建对流条件 296
9.3.4 创建热对称性 298
9.4 建立分析和研究 300
9.4.1 创建稳态热分析 300

9.4.2 创建瞬态热分析 303
9.5 CPU散热片分析 307
9.5.1 建立简化模型 307
9.5.2 分配材质并创建曲面区域 309
9.5.3 施加热力载荷 310
9.5.4 设置边界条件 310
9.5.5 运行分析并获取结果 311

第 3 篇 综合实例

第 10 章 二级减速器仿真 313
10.1 二级减速器仿真概述 313
10.2 装配模型 314
10.2.1 建立骨架模型 314
10.2.2 装配传动轴 316
10.2.3 装配齿轮 318
10.3 建立运动模型 322
10.3.1 设置连接 322
10.3.2 检查机构 324
10.3.3 定义伺服电动机 325
10.4 运动分析 325
10.4.1 运动学分析 326
10.4.2 回放 326
10.4.3 生成分析测量结果 327
第 11 章 活塞连杆机构 329
11.1 运动仿真 329
11.1.1 组装活塞 329
11.1.2 机构设置 333
11.1.3 运动分析 334
11.2 活塞结构分析 338
11.2.1 建立分析模型 339
11.2.2 结构分析 341
11.2.3 热力学分析 347
11.3 优化设计 351
11.3.1 标准设计研究 351
11.3.2 敏感度设计研究 354
11.3.3 优化设计研究 355
11.3.4 升级模型 356




第 1 篇

机构动力学分析

本篇主要介绍 Pro／Engineer Wildfire 5.0 软件进行动力学和有限元分析的 3 种模式、动力学分析模块的介绍、建立运动模型及设置运动环境、动力学分析和动画制作等基础知识。




第 1 章　动力学与有限元分析概述



内容导航

计算机辅助分析（Computer Aided Engineering）是结合计算机技术和工程分析技术的新兴技术。CAE 软件将采用计算力学、计算数学、机构动力学、数学仿真技术、工程管理学等诸多学科的传统理论和计算机相结合，从而形成一种综合性知识密集型的信息产品。CAE 的核心技术为仿真模型运动的运动/动力学仿真技术（即 Pro/Mechanism）和有限元分析技术（即 Pro/Mechanica）。

使用软件对设计模型进行运动仿真和有限元分析，能够模拟在真实环境工作状况并对其进行分析和研究，尽早发现设计中的缺陷，并验证产品功能和性能的可靠性，提前进行修改和优化，从而减少制造中发现问题而付出昂贵的代价，提高设计的可行性和缩短周期。

Pro/Engineer Wildfire 是集 CAD/CAM/CAE 于一体的大型三维设计软件，其中 CAE 包含运动分析、结构分析和热力学分析 3 大部分，功能强大，主要表现在以下几个方面：

（1）采用运动/动力学的理论和方法，通过 CAD 绘出实体模型并设计出会运动的机构。对整体机构进行运动/动力学仿真，分析出如位置、速度、加速度、作用力等具有重要的决定机构性能等设计参数的物理数据。

（2）采用工程数值分析中的有限元技术，分析、计算产品机构的应力、变形等物理参数，分析物理量在空间和时间上的分布和变化规律，完成机构的线性、非线性、静力、动力的计算分析。

（3）在满足设计要求的前提下，采用过程优化设计方法，对产品的机构、设计参数、结构形状等参数进行优化设计，使产品机构性能达到最佳状态。

（4）采用结构强度与寿命评估的理论、方法、规范，评估机构的安全性、可靠性和使用寿命。

1.1　机构的工作模式

Pro/Engineer Wildfire 提供了 3 种工作模式，即 FEM（Finite Element Modeling）模式、

集成模式和独立模式。

1.1.1　FEM 模式

FEM（Finite Element Modeling）模式是对模型进行网格划分、边界约束、载荷、理想化等前置处理，随后需要使用第三方软件进行求解，如 ANSYS。它本身是没有求解功能的。在装配环境或零件环境，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】命令，如图 1.1 所示，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，如图 1.2 所示，选中【FEM 模式】复选框，单击【确定】按钮，就进入 FEM 分析模式。

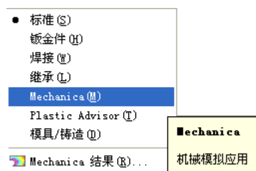


图 1.1　【Mechanica】命令



图 1.2　“Mechanica 模型设置”对话框

1.1.2　集成模式

集成模式运行于 Pro/Engineer Wildfire（野火）平台之上，操作界面与 Pro/Engineer Wildfire 相同，能够直接使用 Pro/Engineer Wildfire（野火）的参数进行分析和优化。在装配环境或零件环境，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，单击【确定】按钮，进入 Pro/Engineer Wildfire 集成分析模式。

1.1.3　独立模式

独立模式不需要 Pro/Engineer Wildfire 平台的支持，能够独立运行，可导入第三方软件模型，功能要比集成式强，其操作及界面更接近 UNIX 环境，较难掌握。需要安装 Pro/Engineer Mechanica 后使用程序组中的快捷方式或使用桌面快捷方式启动，如图 1.3 所示。

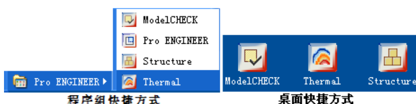


图 1.3　独立模式启动快捷方式

1.2　Pro/Engineer Mechanica 的安装

Pro/Engineer Wildfire 已经将 Pro/Engineer 和 Pro/Mechanica 放置于同一个安装盘中，在安装过程中，选中 Pro/Mechanica 下的“安装此功能”选项，如图 1.4 所示，系统自动将 Pro/Mechanica 进行安装。

Pro/Engineer Wildfire 可以在工作站或 PC 上执行，操作系统可为工作站的 UNIX 或 PC 上的 Windows XP、Windows 2000、Windows NT、Windows Me、Windows 98、Windows 95。若欲在 PC 上执行则硬件需求如下：

（1）主板：没有要求，任意品牌都可以。

（2）CPU：Intel 的 Pentium3、Pentium4、Celeron 及 AMD 的 AthlonXP、Duron 都可以，Pro/Engineer 支持多 CPU 的运行。

（3）内存：256M 以上，若需要构建复杂曲面、大型组件、模具设计或产生 NC 加工程序，建议使用 1G 以上。

（4）显示卡：任意品牌都可以，Video RAM 在 32MB 以上。

（5）网卡：必须要有，牌子不限。

（6）硬盘：IDE 或 SCSI 都可以，Pro/Engineer Wildfire 5.0＋Pro/Engineer Mechanica 系统软件安装约占 3.3GB，再留约 700MB 的虚拟内存，作为几何运算的数据暂存空间，因此需保留 4GB 左右的硬盘空间予 Pro/Engineer Wildfire 5.0 做系统安装。

（7）屏幕：没有特定要求，建议在 17in 以上，分辨率在 1024×768 以上最佳。

（8）三键鼠标及键盘：鼠标中间为滚轮式或传统按键式都可以。



图 1.4　选中安装 Pro/Mechanica


注意

Pro/Engineer Wildfire 安装完后，默认工作目录指向不合理，需要进行修改。右键单击桌面上的 Pro/Engineer 图表，在右键菜单中选择【属性】命令，在“属性”对话框中起始位置文本框中键入需要设置的默认工作目录，如图 1.5 所示，单击【确定】按钮，默认工作目录修改完成。

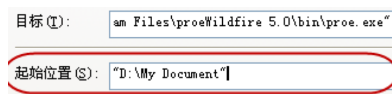


图 1.5　“属性”对话框

第 2 章　动力学分析



内容导航

动力学分析是对设计的机构在计算机上虚拟所设计的机构，达到在虚拟的环境中模拟现实机构运动的目的。对于提高设计效率、降低成本、缩短设计周期有很大的作用。Pro/Engineer Wildfire 5.0 提供了专门进行运动学和动力学分析功能的“机构模块”，即 Mechanism 模块。使用该模块，可实现对机构的定义，使机构中的零件移动及对机构的运动进行分析研究。

2.1　机构模块介绍

2.1.1　机构模块简介

在 Pro/Engineer Wildfire 5.0 中，运动仿真和动态分析功能集成于机构模块中，包括机械设计和动态分析两方面的分析功能。运动仿真是使用机械设计功能来创建机构，定义特定运动副，创建使其能够运动的伺服电动机，实现机构的运动模拟。并可以观察并记录分析，可以进行测量位置、速度、加速度等运动特征，可以通过图形直观地显示这些测量值。也可以创建轨迹曲线和运动包络，用物理方法描述运动。动态分析是使用机械动态功能在机构上定义重力、力和力矩、弹簧、阻尼等特征。可以对机构设置材料、密度等基本属性特征，使其更加接近现实中的机构，达到真实模拟现实的目的。

如果对机构进行运动仿真分析，不涉及质量、重力等基本属性参数，只需要使用机械设计分析就能实现运动分析。如果还需要更进一步分析机构在受到重力、外力和力矩、阻尼等参数影响下的仿真运动，必须使用机械设计功能进行静态分析，机械动态进行动态分析。

2.1.2　运动学分析流程

机构运动学仅讨论与刚体运动本身有关的因素，而不讨论引起这些运动的因素（如

重力、外力和摩擦力等）。因此，运动学属空间和时间等基本概念及其导致的速度和加速度。运动仿真就是机构运动学分析，它是不考虑作用于机构系统上的力的情况下分析机构运动，并对主体位置、速度和加速度进行测量。运动仿真的分析流程，如图 2.1 所示。



图 2.1　运动学分析流程

1．创建模型

建立模型是设计运动仿真的基础步骤，只有机构模型建立正确合理，机构的模拟才能够顺利进行。在机构运动仿真功能中，创建模型主要包括定义机构中的主体、建立零件之间的连接、设置连接轴的属性，根据设计需要，添加凸轮、槽轮、齿轮副等特殊连接。

2．检查模型

在装配模型中，拖动可以移动的零部件，观察装配连接情况。

3．添加模型化要素

在创建完模型以后，在机构添加伺服电动机等运动分析要素。

4．准备进行分析

定义初始位置，建立测量方式。

5．创建分析模型

创建分析模型就是对所创建的机构模型进行运动学分析。

6．获取结果

通过前面对机构模型的建立以及进行分析，可以使用回放功能对分析结果进行回放，进行零件之间的干涉检查，观察测量结果，获取轨迹曲线和运动包络线，有力于设计者了解机构的设计合理性、可行性等工程分析。

2.1.3　动力学分析流程

机构动力学是运动学和力学的统称。力学是处理作用在物体上的力。此时，重力的影响就会被加以考虑。而机构动力学主要是讨论机构上作用的所有力，包括重力、摩擦力和其他外力。动态分析就是机构动力学分析，即根据实际受力情况对机构添加多个建模图元，包括弹簧、阻尼器、力/力矩负荷和重力。可根据电动机所施加的力及其位置、速度和加速度来定义电动机。不但可以分析重复组件和运动，而且可以创建测量，以监测连接上的力以及点、定点和连接轴的速度或加速度。其分析流程与运动仿真分析流程

基本上是一致的，只是设计流程中的内容不同。动力学分析流程，如图 2.2 所示。

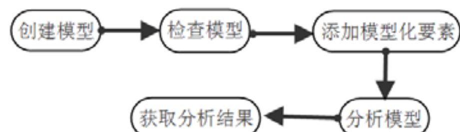


图 2.2　动力学分析流程

1．创建模型

建立模型是设计动态分析的基础步骤，只有机构模型建立正确合理，机构的模拟才能够顺利进行。在机构动态分析功能中，创建模型主要包括定义主体、指定质量属性、生成主体与附着原件之间的连接、定义连接轴、生成特殊连接。

2．检查模型

在装配模型中，拖动可以移动的零部件，观察装配连接情况。

3．添加建模图元

在创建完模型以后，在机构中添加动力源，即伺服电动机，以及添加弹簧、阻尼器、执行电动机、力/力矩负荷和重力等影响运动的要素。

4．创建分析模型

创建分析模型就是对前面创建的机构模型进行运动学分析、动力学分析、静态分析、力平衡、重复装配分析等。

5．获取结果

通过前面三步对机构模型的建立以及进行分析，可以使用回放功能对分析结果进行回放，检查干涉、查看测量和动态测量、获取轨迹曲线和运动包络线以及创建转移到 Mechanica 结构负荷集，有利于设计者了解机构的设计合理性、可行性等工程分析。

2.2　机构工作台

操作工作台是集操作工具栏、菜单栏、界面于一体的可视化窗口。本节主要介绍如何进入机构设计操作工作台及操作工作台中工具栏、菜单栏、结构树和其他工具栏位置。

机构工作台是建立在机构模型基础上的，Pro/Engineer Wildfire 5.0 中集成模式是在启动 Pro/Engineer 后进入装配工作台，然后在菜单栏中快速切换到机构工作台中。

1．进入装配工作台

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建】命令，系统弹出“新建”对话框，如图 2.3 所示。

（2）在【类型】选择组中点选【组件】单选钮，在【名称】文本框中输入文件名

“DT0001”，取消对【使用缺省模板】复选框的勾选，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，如图 2.4 所示。

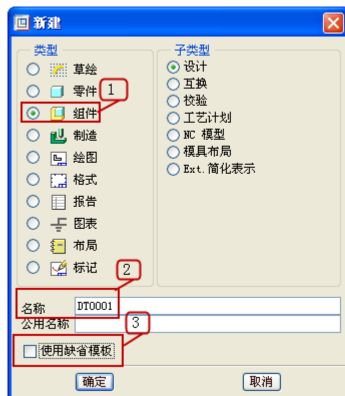


图 2.3　“新建”对话框



图 2.4　“新文件选项”对话框

（3）选择 mmns_asm_design 模板，单击【确定】按钮，进入装配工作台，如图 2.5 所示。

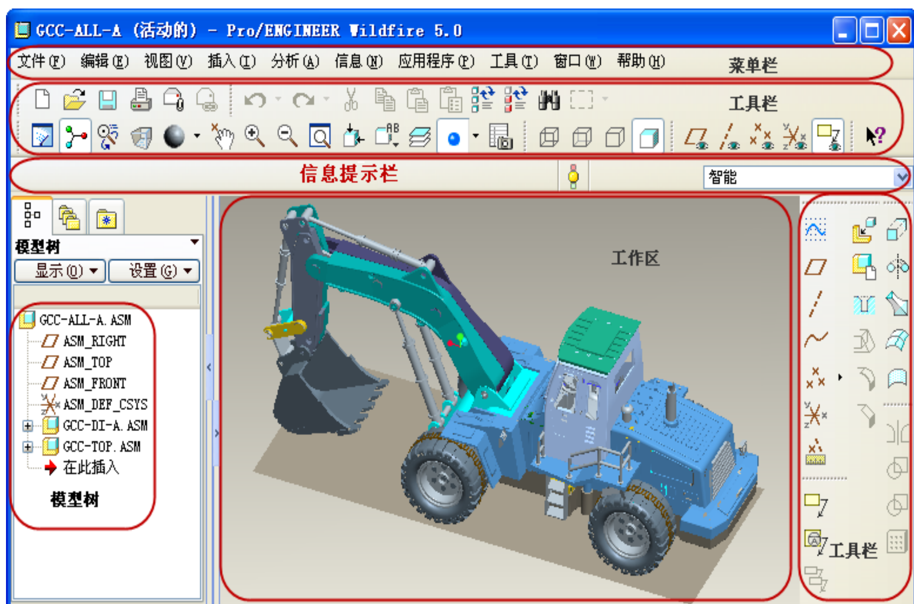


图 2.5　装配工作台

2．进入机构工作台

在装配环境下定义机构的连接后，选择菜单栏中的【应用程序】→【机构】命令，系统自动进入机构工作台，如图 2.6 所示，工作台中加载了机构工具栏和菜单栏，同时在结构树中增加了机构树。

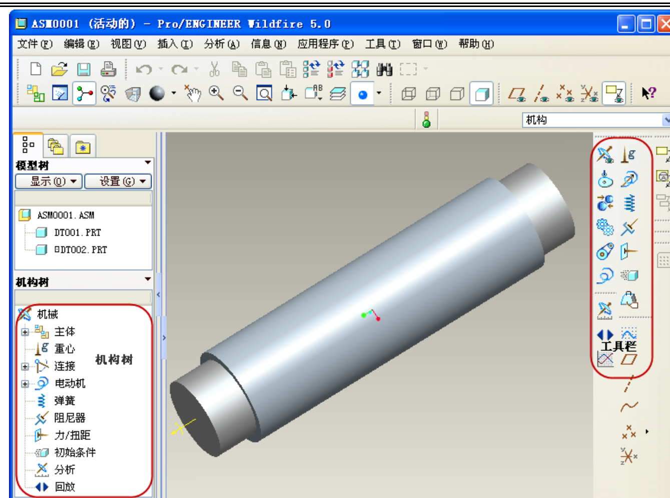


图 2.6　机构工作台

装配工作台是进行零部件装配生成装配模型的设计平台，在装配过程中要定义机构的连接方式。而机构工作台是对装配模型进行仿真和分析的设计平台。工作台最上部分是菜单栏，中部是工具栏，在工作台下部左侧是结构树，中间部分为工作区，右侧是工具栏。这些内容会随着不同模块而不同。

2.3　菜单栏介绍

菜单栏与其他软件相似，位于用户界面最上方，如图 2.7 所示。



图 2.7　菜单栏

2.3.1　文件（F）菜单

文件（F）如图 2.8 所示。

1．设置工作目录

默认工作目录为软件安装时设置（一般为我的文档），默认工作目录不一定符合设计师的设计要求，往往需要将工作目录指向特定的位置。有时，设计师在不同的产品设计，工作目录需要指向不同的位置，设计师通过选择【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，如图 2.9 所示，在该对话框中设置自己的工作目录。设置的工作目录只对本次启动有效，重新启动，工作目录又变为软件安装时设置的工作默认目录。



图 2.8　文件（F）菜单栏

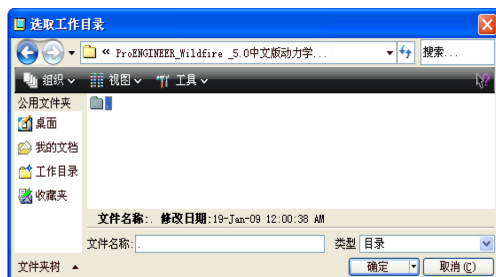


图 2.9　“选取工作目录”对话框

2．镜像零件

【镜像零件】命令是对当前工作台中的零部件进行镜像生成新的零部件。选择菜单栏中的【文件（F）】→【镜像零件】命令，系统弹出“镜像零件”对话框，如图 2.10 所示。在【镜像类型】选项组中选择镜像的类型：仅镜像集合、镜像具有特征的几何。在【从属关系控制】选项组中点选【几何从属】单选按钮，零件安装几何从属关系进行镜像。在【新名称】文本框中键入镜像零件的名称。

3．重命名

【重命名】命令是对内存中的模型、磁盘中的模型进行更换名称。该工具的操作步骤如下：

（1）选择【文件（F）】→【重命名】命令，系统弹出“重命名”对话框，如图 2.11 所示。

（2）在【模型】文本框显示当前打开的模型，也可以单击右侧选择按钮，系统弹出“悬浮”对话框，单击【选取】按钮，在当前模型中选取需要重命名的模型。

（3）在【新名称】文本框中键入要更改模型的新名称。

（4）在【公用名称】文本框中键入需要更改模型的新公用名称，只有点选【在会话中重命名】单选按钮，该文本框可用。

（5）点选【在磁盘上和会话中重命名】单选按钮，表示将磁盘上和内存中的模型同时进行更换名称，点选【在会话中重命名】单选按钮，表示只更换内存中模型的名称。

（6）单击【确定】按钮，系统弹出“改名成功”对话框，如图 2.12 所示。

4．移除模型

在进行模型设计中，往往需要关闭文档，重新建立新的文档，关闭的文档在内存还将存在，可以通过选择菜单栏中的【文件（F）】→【拭除（E）】命令，系统弹出下拉菜单，如图 2.13 所示。

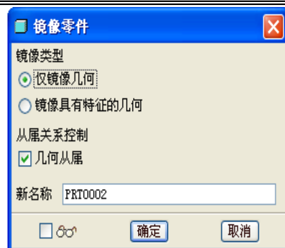


图 2.10　“镜像零件”对话框

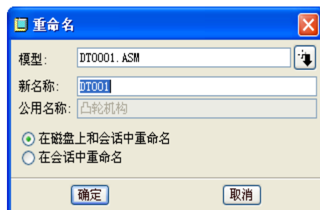


图 2.11　“重命名”对话框



图 2.12　“改名成功”对话框

（1）【当前（C）】命令，是从会话中移除当前窗口中的对象，该功能相当于选择菜单栏中的【窗口（W）】→【关闭（C）】命令，关闭会话中当前窗口中的对象，然后选择菜单栏中的【文件（F）】→【拭除（E）】下拉菜单中的【不显示（D）】命令移除内存中的对象。选择该命令，系统弹出“拭除确认”对话框，如图 2.14 所示。



注意

使用该命令前，确定当前窗口文档是否保持。如果文档未保持，使用该命令拭除后，文档不可恢复。

（2）【不显示（D）】命令，是从会话中移除所有不在窗口中的对象。选择该命令，系统弹出“拭除未显示的”对话框，如图 2.15 所示，在对话框列表中，显示当前未在窗口中的存在内存中的对象。



图 2.13　拭除下拉菜单

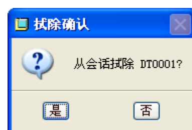


图 2.14　“拭除确认”对话框



图 2.15　“拭除未显示”对话框

（3）【元素表示（R）】命令，表示从会话中移除未使用的简化表示的对象。该功能使用频率极少。

5．模型属性

选择菜单栏中的【文件（F）】→【属性（I）】命令，系统弹出“模型属性”对话框，如图 2.16 所示，对话框中列出当前窗口中模型的材料、特征和几何、刀具、模型界面以及关系、参数和实例的信息参数，单击每一项右侧的【更改】按钮，对其进行更改。单击 i 按钮，系统弹出对话框，显示该项更详细的信息。



图 2.16　“模型属性”对话框

2.3.2　编辑（E）菜单

【编辑（E）】菜单是包含命令最多的菜单，它随进入的模块和选择的对象不同而可用的命令也不同。下面按照功能分类简单介绍机构模块下的编辑菜单。

1．模型再生

选择【编辑（E）】下拉菜单，下拉菜单上部出现【再生（G）】、【再生管理器（M）】、【重新连接（R）】、【激活（V）】命令，如图 2.17 所示，可对图中模型的更改进行再生、激活等操作，使模型的更改显示在当前窗口中。

2．对象编辑

选择【编辑（E）】下拉菜单，下拉菜单中部出现【撤销（U）】、【重做（R）】、【剪切（T）】、【复制（C）】、【粘贴（P）】、【阵列（P）】等编辑命令，如图 2.18 所示，这些命令是对选择的对象进行编辑以及所进行的操作步骤进行撤销、重做等功能。这些命令是各模块中的通用命令，这里不详细介绍。

3．模型要素

选择【编辑（E）】下拉菜单，下拉菜单中部出现【质量属性（A）】、【重定义主体（E）】、【重力（R）】等模型要素命令，如图 2.19 所示。

（1）【质量属性（A）】命令，是赋予所选择的零件、组件、主体质量属性、密度属性。选择菜单栏中的【编辑（E）】→【质量属性（A）】命令，系统弹出“质量属性”对话框，如图 2.20 所示。该对话框的内容如下：

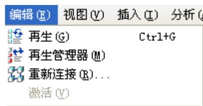


图 2.17 【编辑（E）】中再生



图 2.18 编辑命令

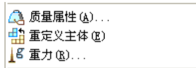


图 2.19 模型要素命令

❑ 【参考类型】下拉列表框，显示用于赋予质量属性的零件、组件、主体。根据选择不同，对话框也不同，如图 2.21 所示为组件“质量属性”对话框，主体“质量属性”对话框与零件“质量属性”对话框相似。



图 2.20 零件“质量属性”对话框



图 2.21 组件“质量属性”对话框

❑ 【零件/组件/主体】文本框用于显示选择的零件、组件、主体。根据在【参考类型】下拉列表框中选择的不同，选择的内容也不同。单击按钮，系统弹出选“选取”话框，如图 2.22 所示，在窗口中选取对应参考类型的对象，单击【确定】按钮，完成零部件的选取。

❑ 【定义属性】下拉列表框，显示对选择对象进行赋予的质量属性，分别是缺省、密度、质量属性。缺省值表示对选择对象不进行任何操作。密度表示对所选择的对象赋予密度属性。质量属性表示对所选择的对象赋予质量属性，即重心、惯量，适用于零件类型。选择密度或质量属性，对话框中相应的文本框变为可编辑状态。

❑ 【坐标系】文本框，显示当前选取的零件或主体的坐标系，单击按钮，系统弹出“选取”对话框，在窗口中选取坐标系，单击【确定】按钮，完成零部件的坐标系设置。

❑ 【基本属性】选项组用于显示或修改当前选择的零件的密度、体积块、质量。

❑ 【重心】选项组用于显示或修改当前选择的对象的重心相对于参考坐标系的 X、Y、Z 增量值。

❑ 【惯量】选项组用于显示或修改当前选择的对象相对于坐标原点或重心的惯量的值。

（2）【重定义主体（E）】命令，是对选择的主体中零部件重新定义约束。选择菜单栏中的【编辑（E）】→【重定义主体（E）】命令，系统弹出“重定义主体”对话框，如图 2.23 所示。该对话框的内容如下：

❑ 【零件名】文本框，用于显示所选择的零件。单击按钮，系统弹出“选取”对话框，如图 2.24 所示，在窗口中选取零件，要求只能选取一个零件，单击【确定】按钮，在对话框的其他文本框中将显示选取零件的相关信息。

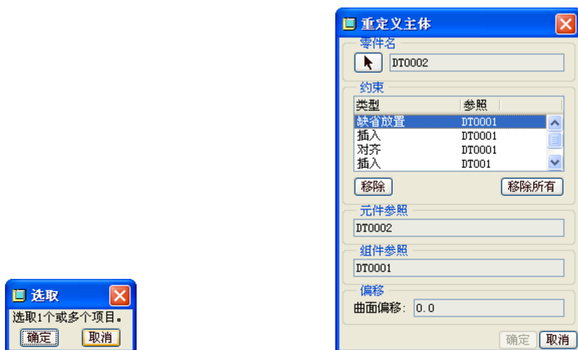


图 2.22　“选取”对话框　　图 2.23　“重定义主体”对话框　　图 2.24　“选取”对话框

❑ 【约束】选项组用于显示和操作当前所选择对象的约束信息。在列表框中选择一种约束类型，在【原件参照】、【组件按照】和【偏移】文本框中显示所选择的约束参数信息。【移除】按钮，是移除当前选择的约束类型。【移除所有】按钮，是移除当前对话框的列表框中所有的约束。

（3）【重力】命令，对当前窗口中的机构定义重力。选择菜单栏中的【编辑（E）】→【重力（R）】命令，系统弹出“重力”对话框，如图 2.25 所示。该对话框的内容如下：

❑ 【模】文本框用于对当前窗口中的机构施加重力，默认值为系统自动计算所得。

❑ 【方向】选项组用于定义重力的施加方向，文本框中输入的数值为 0、1、-1，0 表示重力在原点，1 表示重力方向沿坐标轴正向，-1 表示重力方向沿坐标轴负方向。

4. 其他命令

选择菜单栏中的【编辑（E）】命令，在下拉菜单下部出现【参考】、【定义】、【选取】等命令，如图 2.26 所示。这些命令是通用命令，下面简单介绍各命令的作用。

❑ 【参考（F）】命令，重新定义选定对象的参考。

❑ 【定义（N）】命令，重新定义选定的项目。

❑ 【柔性化（K）】命令，将选定元件转化为柔性元件。

❑ 【制作零件（K）】命令，基于带几何创建零件。

❑ 【元件操作（D）】命令，处理装配元件。

❑ 【特征操作（O）】命令，访问操控特征的命令。



图 2.25　“重力”对话框



图 2.26　其他命令

2.3.3　视图菜单

【视图（V）】菜单是对机构模块中工作区、模型、菜单栏、工具栏等界面的外观进行设置。选择菜单栏中的【视图（V）】，系统展开下拉菜单，如图 2.27 所示。

1．加亮主体

加亮主体是对机构中主体进行加亮显示以及进行各种操作的工具命令。下面以图 2.28 所示图形为例，讲解【加亮主体（H）】命令的使用方法。选择菜单栏中的【视图（V）】→【加亮主体（H）】命令，机构中主体就加亮显示，如图 2.29 所示。



图 2.27　【视图（V）】下拉菜单

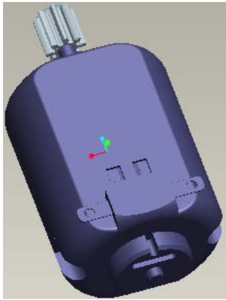


图 2.28　加亮前的主体

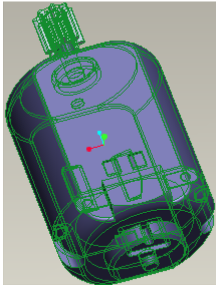


图 2.29　加亮后的主体

2．渲染工作区

在视图下拉菜单中部是对窗口进行渲染的命令集，如图 2.30 所示。

❑　重画命令是对当前窗口中选择等操作进行还原的命令，如使用加亮主体命令后，选择菜单栏中的【视图（V）】→【重画（R）】命令，模型将取消加亮；

❑　着色命令是以着色模式显示当前活动对象，以图 2.31 所示图形为例，选择菜单栏中的【视图（V）】→【着色（S）】命令，当前窗口中的活动模型以着色模式显示，如图 2.32 所示；

❑　渲染窗口是对工作区进行渲染的工具，渲染模式为：Disable（禁用渲染）、Transparent Floor（透明地板）和 Display Room（显示房间）3 种模式，如图 2.33 所示。

3．操作模型

视图下拉菜单中下部是对模型进行操作的工具命令，如图 2.34 所示。

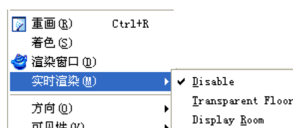


图 2.30　渲染命令

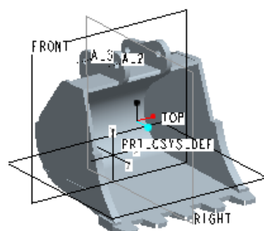


图 2.31　着色前

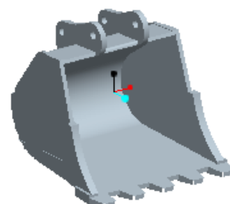


图 2.32　着色后

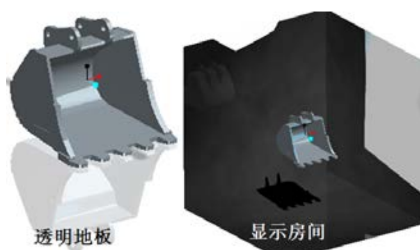


图 2.33　窗口渲染

- ❑ 方向命令组可以很方便对模型进行方向的调整、方向注释、定向模式等功能。
- ❑ 可见性命令组是对模型隐藏与取消隐藏、保持状态和重置上次保持状态等功能。
- ❑ 显示样式命令组可以对选中的模型按照线框、着色、透明、隐藏线等方式显示。
- ❑ 表示命令组是对选中的模型的显示模式，如主表示、仅限组件、仅限几何、仅图形、仅符号等多种模式。
- ❑ 分解命令组是选中的零件与组件进行分离，以及调整分离后的位置等功能。

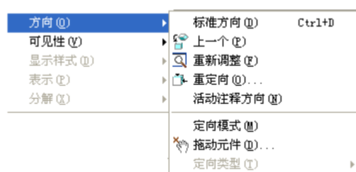


图 2.34　操作模型命令集

4．渲染模型

视图下拉菜单下部是对模型进行渲染的命令集。

- ❑ 注释方向命令是定义新注释的活动注释方向。
- ❑ 模型设置命令组，如图 2.35 所示，是对模型进行渲染的命令。可以进行场景的编辑和应用、渲染的设置和应用、透明的设置和应用、对指定的曲面上创建网格线的栅格。
- ❑ 【层（L）】命令，是在结构树中以层的形式显示当前活动窗口中模型的特征，如图 2.36 所示。
- ❑ 显示设置命令组，如图 2.37 所示，是对模型、基准、机构、性能、可见性、系

统等显示特征的设置。



图 2.35　模型设置命令组

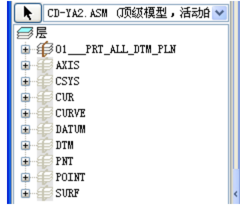


图 2.36　层结构

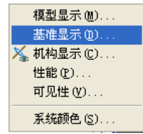


图 2.37　显示设置命令组

2.3.4　插入菜单

【插入（I）】菜单用于在工作区插入模型基准、注释、模型特征、机构元件等特征，不同模块下的【插入（I）】菜单有所不同，如图 2.38 所示，该【插入（I）】菜单是机构模块的【插入（I）】菜单。该菜单下的命令是在本模块中使用频率最高的命令。所有的命令都有快捷工具，也是本模块中最主要的工具，将在具体内容讲解过程中逐一进行详细介绍。

2.3.5　分析菜单

【分析（A）】菜单，如图 2.39 所示，它是动力学和有限元分析中最重要的工具集合。



图 2.38　【插入（I）】菜单



图 2.39　【分析（A）】菜单

2.3.6　信息菜单

【信息（N）】菜单，如图 2.40 所示，它是对当前活动的模型、机构的特征以及属性进行统计、查询的命令集。

❑　摘要命令是显示当前活动窗口中机构的主体数和所包含的零件数量。选择菜单栏中的【信息（N）】→【机构（E）】→【摘要】命令，系统展开折叠式窗口，如图 2.41 所示，窗口中显示当前活动主体数为 3，零件数量为 13 个。



图 2.40　【信息（N）】菜单



图 2.41　机构摘要信息

❑　细节命令用以显示当前活动窗口中的模型以及机构主体的基本属性，包含单位制、设置、重力，以及主体的质量属性、基础 LCS 的重心、惯量等特征属性。选择菜单栏中的【信息（N）】→【机构（E）】→【细节】命令，系统展开折叠式窗口，如图 2.42 所示，显示当前活动窗口中的基本属性。



图 2.42　机构细节信息

❑　质量属性命令用以显示当前活动窗口中机构的单位制、属性、重心、惯量和重心的惯量等属性参数。选择菜单栏中的【信息（N）】→【机构（E）】→【质量属性】命令，系统展开折叠式窗口，如图 2.43 所示。

单位制

属性	值
单位	毫米牛顿秒(mmNs)

属性

属性	值
总体积	1634.466057
总质量	1634.466057

关于FS-12 WCS 的重心

属性	值
X	6.816389
Y	-2.638572
Z	0.056412

关于FS-12 WCS 的惯量

属性	值
Ixx	1.1316e+06
Ixy	70023.718378
Ixz	-1242.249920
Iyx	70023.718378

关于FS-12 重心的惯量

属性	值

图 2.43　机构质量属性信息

2.3.7　应用程序菜单

【应用程序（P）】菜单，如图 2.44 所示，它是不同模块之间切换的快捷菜单。有利于在不同模块之间切换，进行不同类型的混合设计，如机械设计、电缆设计、管道设计、焊接设计、Mechanica 设计、机构设计、模具设计等。

- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【标准】命令，就可以进入 Pro/Engineer Wildfire 5.0 中最基础的零部件设计模块。
- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【电缆】命令，就可以进入电线、电缆设计模块。
- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【管道】命令，就可以进入管路设计模块，进行管道、管路等设计。
- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica】命令，系统弹出 Mechanica 模型设置对话框，如图 2.45 所示，在模型类型下拉列表框中选择模型类型，单击【确定】按钮，进入相应的机构分析模块或热力学分析模块，可以进行结构和热力学分析。
- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构】命令，就进入动力学分析模块，可以对机构进行运动学和动力学分析。
- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【动画】命令，就可以进入动画设计模块，进行机构的动画模型设计。
- 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【模具布局】命令，就进入模具设计模块，可以进行各种模具的设计。

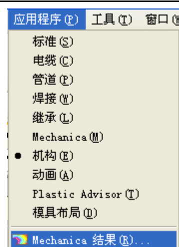


图 2.44　【应用程序（P）】菜单



图 2.45　Mechanica 模型设置对话框

2.3.8　工具菜单栏

【工具（T）】菜单，如图 2.46 所示，它集高级命令和系统设置命令于一体。包含机构模块专用的【关系（R）】命令、【参数（P）】命令、【族表（F）】命令和【UDF 库（U）】命令及公共命令，如 Appearances Manager（渲染管理）、图像编辑器、环境设置等命令。



图 2.46　【工具（T）】菜单

2.4　工具栏

工具栏是各软件中最常见的命令快捷键，Pro/Engineer Wildfire 5.0 对常用的命令按照分类进行了工具栏的设置。在机构模块中常用到的工具栏有机构工具栏、模型工具栏、动态工具栏和运动工具栏，下面简单介绍一下各工具栏的作用，工具栏中工具的详细使用方法将在后续章节中逐一介绍。

2.4.1　机构工具栏

机构工具栏只包含机构设置一个工具。单击该工具栏上的【机构设置】工具按钮，

系统弹出“设置”对话框，如图 2.47 所示，该对话框的内容如下：

- 勾选【重新连接】选项组中【组件连接失败时发出警告】复选框，在机构重新连接发生失败时，系统发出警告。
- 【运行优先选项】选项用于设置分析运行失败时暂停还是继续，以及是否在运行过程中图形显示。
- 【再生优先选项】选项用于设置再生时移除运行结果还是再生后维护运行结果，以及是否使用再生值。
- 【相对公差】文本框用于设定相对公差，单击【恢复缺省】按钮，恢复相对公差值为系统默认值 0.001。
- 【特征长度】选项组用于设置特征长度值，单击【恢复缺省】按钮，恢复特征长度值为系统默认值 1mm。

2.4.2　模型工具栏

模型工具栏，如图 2.48 所示，是对机构进行各种设置的工具集合。它包含机构显示、凸轮、3D 接触、齿轮、传送带、伺服电动机等工具。

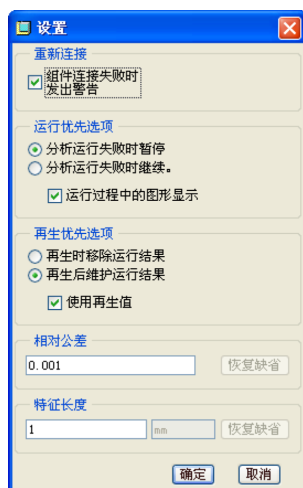


图 2.47　“设置”对话框



图 2.48　模型工具栏

2.4.3　动态工具栏

动态工具栏如图 2.49 所示，是对机构进行动力学分析前，进行机构环境设置的工具集合。它包含重力、执行电动机、弹簧、阻尼器、力/力矩、初始条件、质量属性等工具。

2.4.4　运动工具栏

运动工具栏如图 2.50 所示，它是机构分析的工具集合。它包含机构分析、回放、测量等工具。



图 2.49　动态工具栏



图 2.50　运动工具栏

2.5　结构树

结构树是三维设计中自动生产的一种对三维特征以及创建过程进行管理的树形结构，它是模型文件中的一部分。在机构模块中，Pro/Engineer Wildfire 5.0 包含模型树、机构树两种结构树，分别对机构模型特征和动力学分析特征进行管理。在结构树中，可以使用右键菜单对模型特征进行更改、查询等操作。

2.5.1　模型树

模型树如图 2.51 所示，在模型树上列出了所有创建的特征，并且结构树自动以子树关系表示特征之间的父子关系，在结构树上单击选中某个特征，则对应的图形平台上的特征被选中，且高亮显示。右键单击该特征，系统弹出快捷菜单，如图 2.51 所示，根据选中的对象不同，快捷菜单的内容也不同。

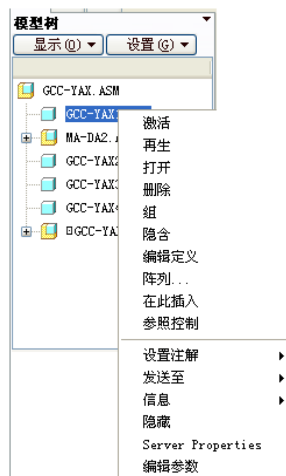


图 2.51　模型树与快捷菜单

2.5.2　机构树

机构树是机构模块中特有的一种管理机构动力学分析中创建的各种环境的结构树，如图 2.52 所示，它包含主体、重心、连接、电动机、弹簧、阻尼器、力/扭矩、初始条件、分析、回放等机构特征。

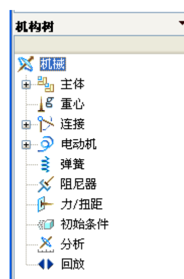


图 2.52　机构树

第 3 章　建立运动模型及设置运动环境



内容导航

本章主要介绍如何建立动力学分析的机构模型和运动环境。既然组建要运动，组件进行组装时就不能被死锁，即不完全约束。根据组件的运动型态及它们之间的相对运动情况，对机构进行合理的连接设定来限制组件的自由度。根据机构的受力情况和运动状况，建立机构的运动环境。通过这些运动模型的建立和运动环境的设置，就可以对机构进行动力学分析，模型的建立和运动环境的设置越接近实际情况，那么分析的结果就越符合实际。

3.1　建立常规连接

常规连接是建立组件的基本操作，主要是定义系统在模型中组装零件时，要采用的放置约束；约束主体间的相对运动，减少系统可能的总自由度（DOF）；定义一个零件在机构中，可能具有的运动类型。因此，在选择连接前，应先了解系统在定义运动时，是如何使用放置约束和自由度的。正确限制主体的自由度，保留所需的自由度，以产生机构所需的运动类型。Pro/Engineer 提供了丰富的连接定义，主要是刚性连接、销钉连接、滑动连接、圆柱连接、平面连接、球连接、焊缝、轴承、常规、6DOF（自由度）。连接是在“装配”模块中建立，但是连接与装配中的约束不同，连接具有一定的自由度，可以进行一定的运动。通常采用约束将放置在模型中的元件，限制与主体之间的相对运动，减少系统总自由度（DOF），从而定义一个元件在机构中可能具有的运动类型。连接的建立过程需要配合“约束”去限制主体的某些自由度，如图 3.1 所示。

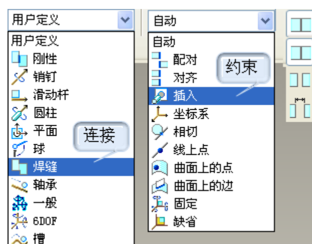


图 3.1　连接与约束

这里讲解的连接与组装中的约束有所不同。主要区别如下：

- 允许放置约束类型受所创建的连接类型约束。
- 将多个放置约束组合在一起来定义单一连接。
- 定义的放置约束不会完全约束模型，除非连接副的类型为刚性连接。
- 可以在一个零件中添加多个连接。

机构连接与约束连接可相互转换。在“信息提示栏”中，约束列表右侧有一个“约束转换”按钮。使用此按钮可在任何时候根据需要将机构连接转换为约束连接，或将约束连接转换为机构连接。在转换时，系统根据现有约束及其对象的性质自动选取最相配的新类型。如对系统自动选取的结果不满意，可再进行编辑。

3.1.1 刚性连接

【刚性连接】工具，使用一个或多个基本约束，将元件与组件连接到一起。连接后，元件与组件成为一个主体，相互之间不再有自由度，如果刚性连接没有将自由度完全消除，则元件将在当前位置被“粘”在组件上。如果将一个子组件与组件用刚性连接，子组件内各零件也将一起被“粘”住，其原有自由度不起作用,总自由度为 0。

3.1.2 销钉连接

【销钉连接】工具，是由一个轴对齐约束和一个与轴垂直的平移约束组成。元件可以绕轴旋转，具有 1 个旋转自由度，总自由度为 1。轴对齐约束可选择直边或轴线或圆柱面，可反向；平移约束可以是两个点对齐，也可以是两个平面的对齐/配对，平面对齐/配对时，可以设置偏移量。

下面如图 3.2 所示元件创建销钉连接为例，讲解【销钉连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出“打开”对话框中，选择 DT001.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项，如图 3.3 所示。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT002.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“销钉”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了轴对齐和平移约束，如图 3.4 所示。

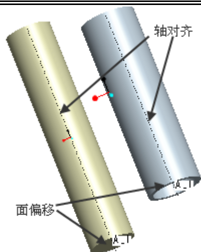


图 3.2　销钉连接对象

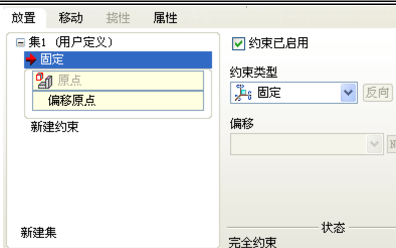


图 3.3　固定约束“放置”对话框

（6）在 3D 图中选择元件的轴线，系统自动转换到平移约束编辑状态，选择两元件端面，在【偏移】下拉列表框中选择“偏移”选项，在其后的文本框中键入 25。

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，销钉连接创建完成，效果如图 3.5 所示。

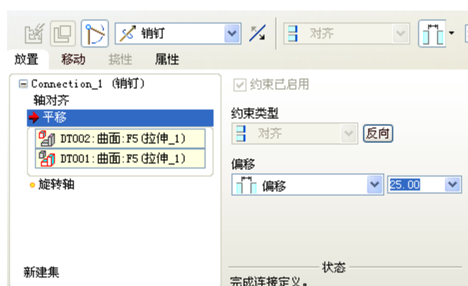


图 3.4　销钉连接约束放置对话框



图 3.5　销钉连接

3.1.3　滑动杆连接

【滑动杆连接】工具，即滑块，是由一个轴对齐约束和一个旋转约束（实际上就是一个与轴平行的平移约束）组成。元件可沿轴平移，具有 1 个平移自由度，总自由度为 1。轴对齐约束可选择直边或轴线或圆柱面，可反向。旋转约束选择两个平面，偏移量根据元件所处位置自动计算，可反向。

下面以图 3.6 所示元件创建滑动杆连接为例，讲解【滑动杆连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT001.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT002.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“滑动杆”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了轴对齐和旋转约束，如图 3.7 所示。

（6）在 3D 图中选择元件的轴线，系统自动转换到旋转约束编辑状态，选择两元件 RIGHT 平面。

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，连接杆连接创建完成，效果如图 3.8 所示。

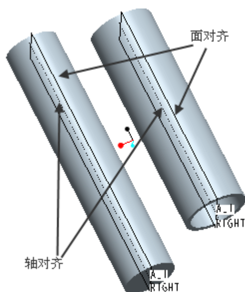


图 3.6　连接杆连接对象

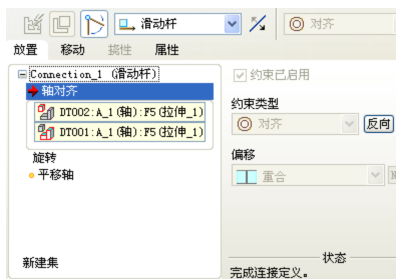


图 3.7　连接杆连接约束“放置”对话框

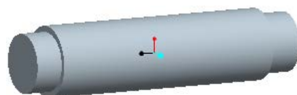


图 3.8　连接杆连接

3.1.4　圆柱连接

【圆柱连接】工具，由一个轴对齐约束组成。比销钉约束少了一个平移约束，因此元件可绕轴旋转同时可沿轴向平移，具有 1 个旋转自由度和 1 个平移自由度，总自由度为 2。轴对齐约束可选择直边或轴线或圆柱面，可反向。

下面以如图 3.9 所示元件创建圆柱连接为例，讲解【圆柱连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT001.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT002.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“圆柱”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了圆柱约束，如图 3.10 所示。

（6）在 3D 图中选择元件的轴线。

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，圆柱连接创建完成，效果如图 3.11 所示。

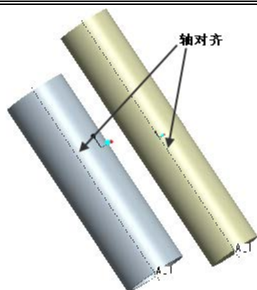


图 3.9　圆柱连接对象



图 3.10　圆柱连接约束放置对话框

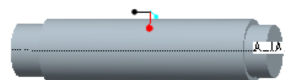


图 3.11　圆柱连接

3.1.5　平面连接

【平面连接】工具，由一个平面约束组成，也就是确定了元件上某平面与组件上某平面之间的距离（或重合）。元件可绕垂直于平面的轴旋转并在平行于平面的两个方向上平移，具有 1 个旋转自由度和 2 个平移自由度，总自由度为 3。可指定偏移量，可反向。

下面以如图 3.12 所示元件创建平面连接为例，讲解【平面连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT01.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT02.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“平面”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了匹配约束，如图 3.13 所示。

（6）在 3D 图中选择元件的相匹配面。

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，平面连接创建完成，效果如图 3.14 所示。

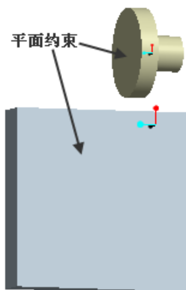


图 3.12　平面连接对象

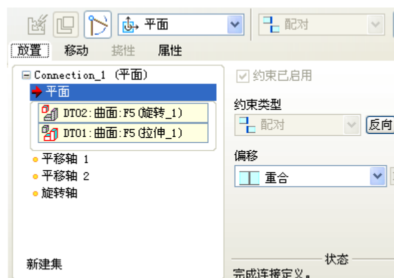


图 3.13　平面连接约束放置对话框

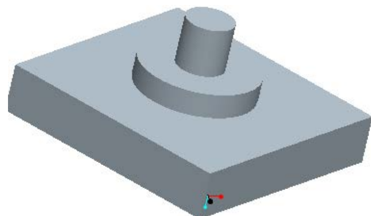


图 3.14　平面连接

3.1.6 球连接

【球连接】工具，由一个点对齐约束组成。元件上的一个点对齐到组件上的一个点，比轴承连接少了一个平移自由度，可以绕着对齐点任意旋转，具有 3 个旋转自由度，总自由度为 3。

下面以图 3.15 所示元件创建球连接，讲解【球连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 15_1.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 15_2.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“平面”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了点对齐约束，如图 3.16 所示。

（6）在 3D 图中选择两元件的球心点。

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，球连接创建完成，效果如图 3.17 所示。

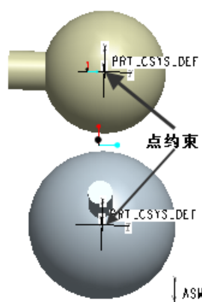


图 3.15　球连接对象

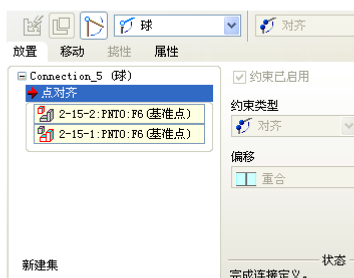


图 3.16　球连接约束放置对话框

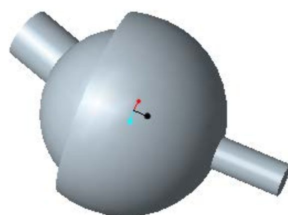


图 3.17　球连接

3.1.7 轴承连接

【轴承连接】工具，由一个点对齐约束组成。它与机械上的“轴承”不同，它是元件（或组件）上的一个点对齐到组件（或元件）上的一条直边或轴线上，因此元件可沿轴线平移并任意方向旋转，具有 1 个平移自由度和 3 个旋转自由度，总自由度为 4。

下面以如图 3.18 所示元件创建轴承连接为例，讲解【轴承连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 15_1.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 15_2.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“轴承”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了点对齐约束，如图 3.19 所示。

（6）在 3D 图中选择元件的点和附着件的轴线。

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，轴承连接创建完成，效果如图 3.20 所示。

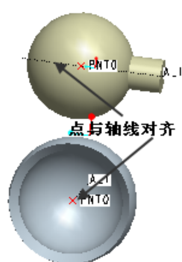


图 3.18　轴承连接

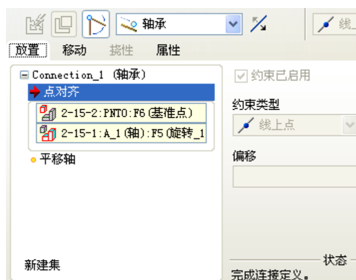


图 3.19　轴承连接约束放置对话框

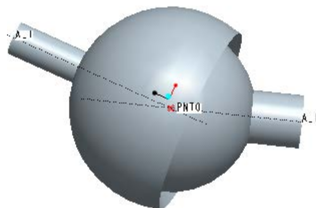


图 3.20　轴承连接

3.1.8　焊缝连接

【焊缝连接】工具，两个坐标系对齐，元件自由度被完全消除。连接后，元件与组件成为一个主体，相互之间不再有自由度。如果将一个子组件与组件用焊接连接，子组件内各零件将参照组件坐标系按其原有自由度的作用，总自由度为 0。它与刚性连接一样没有自由度，但是刚性连接与焊缝连接有着本质区别：

- 刚性连接接头允许任何有效的组件约束组聚合到一个接头类型。这些约束可以是装配元件得到固定的完全约束集或部分约束集。
- 装配零件、不包含连接的子组件或连接不同主体的元件时，可使用刚性接头。焊缝接头的作用方式与其他接头类型类似，但是零件或子组件的放置是通过坐标系对齐固定的。
- 当装配包含连接的元件与同一主体之间需要多个连接时，可使用焊缝接头。焊缝

连接允许根据开放的自由度调整元件与主组件匹配。

- 如果使用刚性接头将带有“机械设计”连接的子组件装配到主组件，子组件连接将不能运动。如果使用焊缝连接将带有“机械设计”连接的子组件装配到主组件，子组件将参照与主组件相同的坐标系，且其子组件的运动始终处于活动状态。

下面以两块钢板为例，讲解【轴承连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT0001.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 PRT0002.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“焊缝”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了坐标系对齐约束，如图 3.21 所示。

（6）在 3D 图中选择元件 DT0001.PRT 和元件 PRT0002.PRT 的坐标系。;

（7）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，焊缝连接创建完成，效果如图 3.22 所示。

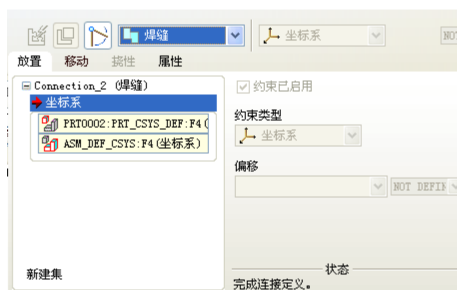


图 3.21　焊缝连接约束放置对话框

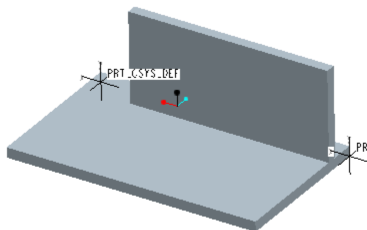


图 3.22　焊缝连接

3.1.9　一般连接

【一般连接】工具，也就是自定义组合约束，可根据需要指定一个或多个基本约束来形成一个新的组合约束，其自由度的多少因所用的基本约束种类及数量不同而不同。可用的基本约束有：匹配、对齐、插入、坐标系、线上点、曲面上的点、曲面上的边，共 7 种。在定义的时候，可根据需要选择一种，也可先不选取类型，直接选取要使用的对象，此时在类型那里开始显示为“自动”，然后根据所选择的对象系统自动确定一个合适的基本约束类型。

下面以两钢板为例，讲解【一般连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT0001.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 PRT0002.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“一般”选项，单击【放置】工具按钮，在 3D 图中选择 DT0001 元件的上表面和 PRT0002 元件的一边面，系统生成配对约束。

（6）在 3D 图中选择元件 DT0001.PRT 和元件 PRT0002.PRT 的端面，在“放置”对话框中【偏移】下拉列表框中选择“重合”选项，系统添加对齐约束和平移轴连接。

（7）选中平移轴连接，在 3D 图中选择元件 DT0001.PRT 和元件 PRT0002.PRT 的侧面，在“放置”对话框右侧的当前位置文本框中键入 50，选中启用再生值、最小限制、最大限制复选框，设置运动的范围，如图 3.23 所示。

（8）单击【动态属性】按钮，展开“扩展”对话框，如图 3.24 所示，在这里设置还原系数和摩擦系数。

（9）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，一般连接创建完成，效果如图 3.25 所示。

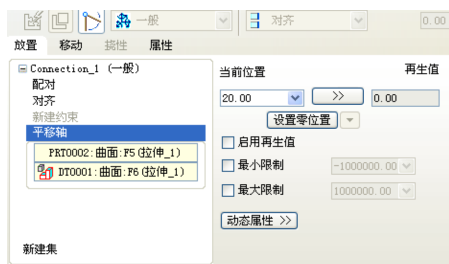


图 3.23　一般连接放置对话框



图 3.24　一般连接放置扩展对话框

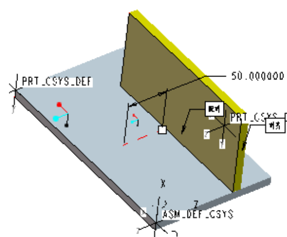


图 3.25　一般连接

3.1.10　6DOF 连接

【6DOF】工具，即 6 自由度，也就是对元件不作任何约束，仅用一个元件坐标系和一个组件坐标系重合来使元件与组件发生关联。元件可任意旋转和平移，具有 3 个旋转自由度和 3 个平移自由度，总自由度为 6。

下面以两块钢板为例，讲解【6DOF】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 DT0001.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 PRT0002.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“6DOF”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了坐标系对齐约束，如图 3.26 所示。

（6）在 3D 图中选择元件 DT0001.PRT 和元件 PRT0002.PRT 的坐标系。

（7）选中平移轴 1，单击【动态属性】按钮，展开“扩展”对话框，在“扩展”对话框中设置还原系数和摩擦系数。

（8）使用同样的方法设置平移轴 2 和平移轴 3 的还原系数和摩擦系数。

（9）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，6DOF 连接创建完成。



图 3.26 6DOF 连接放置对话框

3.1.11 槽连接

【槽连接】工具，是两个主体之间的一个点—曲线连接。从动件上的一个点，始终在主动件上的一根曲线（3D）上运动。槽连接只使两个主体按所指定的要求运动，不检查两个主体之间是否干涉，点和曲线甚至可以是零件实体以外的基准点和基准曲线，当然也可以在实体内部。

下面以图 3.27 所示图形为例，讲解【槽连接】工具的使用方法。

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 3_27_1.PRT 将其加载到当前工作台中。

（2）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框

框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（3）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 3_27_2.PRT 将其加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“槽”选项，单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中已经添加了直线上的点约束和槽轴连接，如图 3.28 所示。

（6）在 3D 图中选择元件 3_27_1.PRT 的边线和元件 3_27_2.PRT 的点。

（7）选中槽轴，在对话框中设置当前位置和再生值的最大限制、最小限制，单击【动态属性】按钮，展开“扩展”对话框，在“扩展”对话框中设置还原系数和摩擦系数。

（8）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，槽连接创建完成，效果如图 3.29 所示。

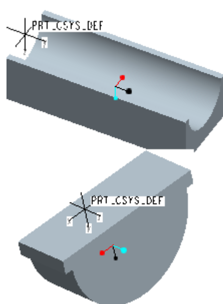


图 3.27　槽连接对象

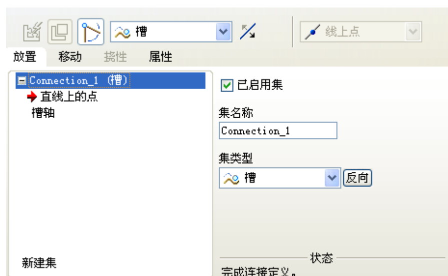


图 3.28　槽连接放置对话框

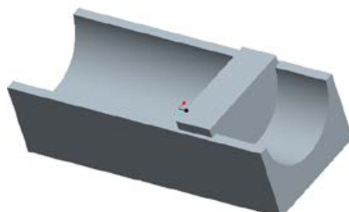


图 3.29　槽连接

3.2　建立特殊连接

在 ProEngineer Wildfire 5.0 中有 4 种特殊的连接，可以设置特殊连接后进行各种分析，这 4 种连接分别是凸轮连接、3D 接触连接、齿轮连接、传动带连接，也是常见的典型机构。特殊连接是在机构工作台中进行定义的，选择菜单栏中【应用程序（P)】→【机构（E)】命令，切换到机构工作台。

3.2.1　凸轮连接

【凸轮】工具，就是用凸轮的轮廓去控制从动件的运动规律，凸轮连接只需要指定两个主体上的各一个（或一组）曲面或曲线就可以了。选择菜单栏中的【插入（I)】

→【凸轮（C）】命令，或单击“模型”工具栏上的【凸轮】工具按钮，系统弹出“凸轮从动机构连接定义”对话框，如图 3.30 所示。

1. 【凸轮 1】选项卡：定义第一个凸轮

（1）【曲面/曲线】选项组用于定义凸轮工作面

- 单击【箭头】按钮，选取曲面/曲线定义凸轮的工作面。如果选取开放的曲面或曲线，会出现一个红色箭头，从相互作用的一侧开始延伸，指示凸轮的法向。选取的曲面或曲线是直的，“机械设计模块”会提示选取同一主体上的点、定点、平面实体表面或基准平面以定义凸轮的工作面。所选的点不能在所选的线上。工作面中会出现一个红色箭头，指示凸轮法向。
- 在选取曲面时，当勾选【自动选取】复选框后，系统自动选取与所选曲面相邻的任何曲面，凸轮与另一个凸轮相互作用的一侧由凸轮的法线方向指示。
- 【反向】按钮反向，反向凸轮曲面的法线，如果选取的曲面在体积块上，则默认的法线向外，【方向】按钮不可用。

（2）【深度显示设置】选项组，Mechanism 会将所创建的凸轮在延伸方向的深度上当作是无限长。如果选取凸轮的弯曲曲面，那么就要以适当的深度来显示它。如果为一个或多个凸轮选取了平坦曲面，就必须使用“深度显示设置”部分参照来定义凸轮方向。如果为其中一个凸轮选取一个直边或直曲线，就必须选取点、顶点、平面曲面或基准平面来定义工作平面，而且使用深度参照来变更凸轮的视觉显示。可以在下拉列表框中选择一下选项：

- “自动”选项。根据所选的凸轮曲面，系统自动计算适当的凸轮深度。如果选取平坦表面作为参照，则该选项不可用。
- “前面和后面”选项。单击“前参考”和“后参考”文本框前箭头，选取两个点或端点作为深度参照。这些参照也可以为凸轮定向。系统会据此确定凸轮深度等于所选参照之间的距离。
- “前面、后面和深度”选项。单击“前参考”和“后参考”文本框前箭头，选取两个点或端点作为深度参照，并输入“深度”值。
- “中心和深度”选项。单击“中心参照”文本框前箭头，选取一个点或顶点，并输入“深度”值。

2. 【凸轮 2】选项卡：定义第二个凸轮

【凸轮 2】选项卡的设置与【凸轮 1】选项卡的设置相似。

3. 【属性】选项卡：定义凸轮机构之间连接条件，即升离系数和摩擦系数

单击【属性】选项卡，“凸轮从动机构连接定义”对话框更新为如图 3.31 所示，该对话框的内容如下：

（1）【升离】选项组：用于设置启动升离允许凸轮从动机构在拖动或分析运行期间分离。如果要仿真凸轮从动件连接、槽从动连接或连接处的冲击力，就需指定碰撞系数，

即恢复因子，其物理定义为两物体碰撞后的相对速度（V2-V1）与碰撞前的相对速度（V10-V20）的比值，即 e=(V2-V1)/(V10-V20)，它的值介于 0～1 之间。典型的碰撞系数可从工程书籍或实际经验中得到。同时，它取决于材料属性、主体几何以及碰撞速度等因素。在机械中应用碰撞系数，是在硬性计算中仿真非硬性属性的一种方法。例如，完全弹性碰撞的碰撞系数为 1，完全非弹性碰撞的碰撞系数为 0，橡皮球的碰撞系数相对较高，而湿土的碰撞系数就非常接近 0。勾选【启动升离】复选框，在文本框中定义碰撞系数 e＝0～1。

（2）【摩擦】选项组：用于定义凸轮之间的摩擦系数，摩擦系数取决于接触材料的类型及实验条件。一般可在物理或工程书籍中找到各种典型的摩擦系数表。两个表面的静摩擦系数要大于相同的两个表面的动摩擦系数。勾选【启动摩擦】复选框，在文本框中定义凸轮之间的静摩擦系数 Us 和动摩擦系数 Uk。



注意

必须将摩擦用于凸轮从动件连接副才能在力平衡分析中计算凸轮滑动测量。



图 3.30　“凸轮从动机构连接定义”对话框



图 3.31　【属性】选项卡

下面以如图 3.32 所示最简单的凸轮机构为例，讲解【凸轮】工具的使用方法。

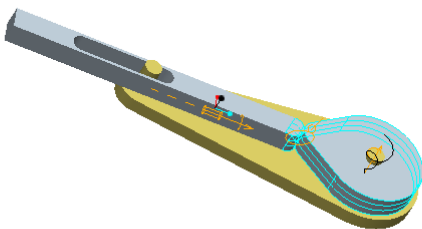


图 3.32　凸轮机构

（1）分析机构连接方式：该凸轮机构是将旋转运动传递给滑杆的直线往返运动，

所以凸轮部分需要进行销钉连接，而滑杆需要进行圆柱连接。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择凸轮零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

（3）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，如图 3.33 所示。在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 Tulun，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，如图 3.34 所示，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

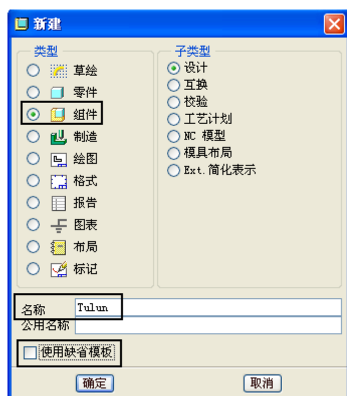


图 3.33 “新建”对话框

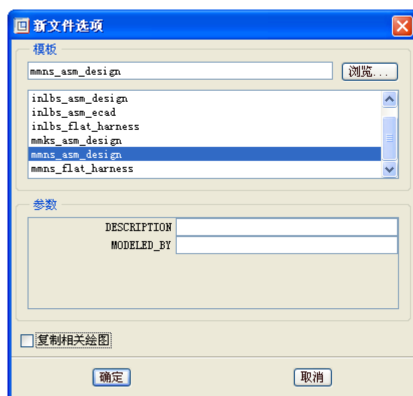


图 3.34 “新文件选项”对话框

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 a.prt 加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，如图 3.35 所示，在【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（6）单击【完成】按钮，完成主体的固定。



图 3.35 固定约束对话框和固定元件

（7）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 c.prt 加载到当前工作台中。

（8）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，如图 3.36 所示，在【集

类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项。

（9）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 上销轴的轴线和元件 c.prt 的孔的轴线，如图 3.37 所示。

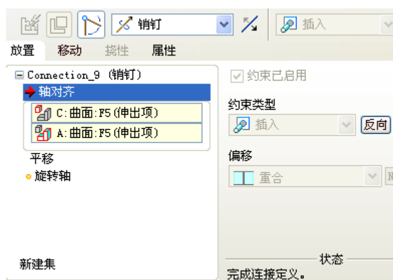


图 3.36　销钉连接对话框

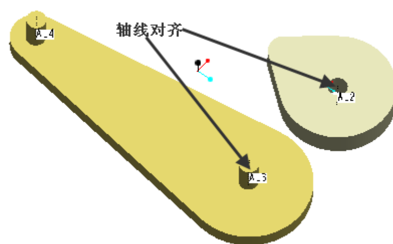


图 3.37　轴对齐约束

（10）选中“平移”选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 和元件 c.prt 的结合面。

（11）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成销钉连接。

（12）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 b.prt 加载到当前工作台中。

（13）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“圆柱”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，如图 3.38 所示，在【集类型】下拉列表框中选择“圆柱”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移轴”、“旋转轴”选项。

（14）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 b.prt 在元件 a.prt 上滑动的轴线（在零件建模时，创建滑动轴线）和元件 b.prt 的轴线，如图 3.39 所示。

（15）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成圆柱的连接，效果如图 3.40 所示。

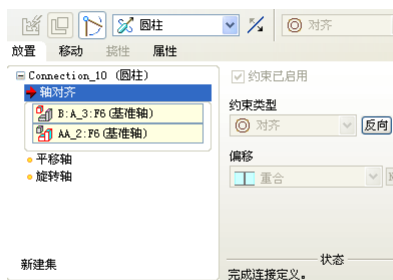


图 3.38　圆柱连接对话框

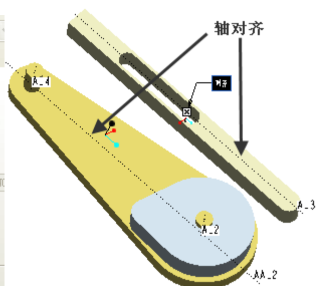


图 3.39　轴对齐

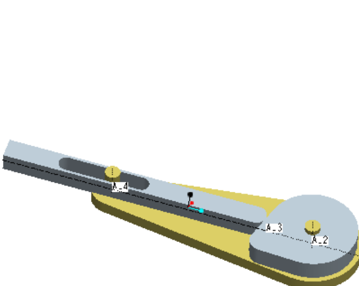


图 3.40　连接后的凸轮机构

（16）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（17）选择菜单栏中的【插入（I）】→【凸轮（C）】命令，或单击“模型”工具栏

上的【凸轮】工具按钮，系统弹出“凸轮从动机构连接定义”对话框。

（18）单击【凸轮 1】选项卡，勾选【自动选取】复选框，单击【曲面/曲线】选项组中的箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，如图 3.41 所示，选中凸轮的外侧边缘，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，完成凸轮 1 工作面的定义，效果如图 3.42 所示。

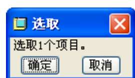


图 3.41 “选取”对话框

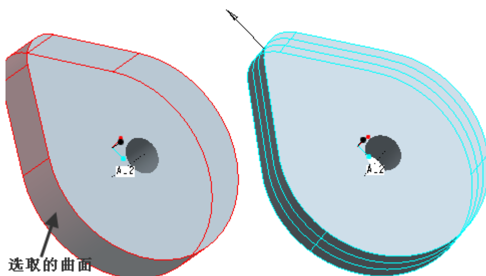


图 3.42 选取和选取后的凸轮的工作面

（19）单击【凸轮 2】选项卡，单击【曲面/曲线】选项组中的箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，选中滑动杆的外侧边缘，如图 3.43 所示，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，完成滑动杆工作面的定义。



图 3.43 选取的滑动杆工作面

（20）在“凸轮从动机构连接定义”对话框中，单击【确定】按钮，完成凸轮机构的连接定义。

3.2.2 3D 接触连接

【3D 接触】工具，就是元件不作任何约束，只是对 3D 模型进行空间点重合来使元件与组件发生关联。元件可任意旋转和平移，具有 3 个旋转自由度和 3 个平移自由度，总自由度为 6。

下面以两球为例，讲解【3D 接触】工具的使用方法。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框。在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 q00，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（2）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 q01.PRT 将其加载到当前工作台中。

（3）在信息提示栏中，单击【完成】按钮，完成球的放置。

（4）使用同样的方法再加载一个球到当前工作台中。

（5）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（6）选择菜单栏中的【插入（I）】→【3D 接触】命令，或单击“模型”工具栏上的【3D 接触】工具按钮，系统进入 3D 接触定义状态。

（7）在 3D 模型中，分别选择两球，单击【完成】按钮，完成 3D 接触连接，3D 接触连接添加到模型树和机构树中，如图 3.44 所示，两球 3D 接触连接最终效果如图 3.45 所示。



图 3.44　模型树和机构树

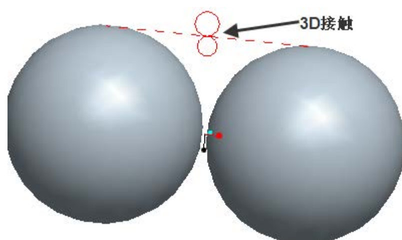


图 3.45　球的 3D 接触连接

3.2.3　齿轮连接

【齿轮】工具，是用来控制两个旋转轴之间的速度关系。在 Pro/Engineer Wildfire 5.0 中齿轮连接分为标准齿轮和齿轮齿条两种类型。标准齿轮需定义两个齿轮，齿轮齿条需定义一个齿轮和一个齿条。一个齿轮（或齿条）由两个主体和这两个主体之间的一个旋转轴构成。因此，在定义齿轮前，需先定义含有旋转轴的机构连接（如销钉）。选择菜单栏中的【插入（I）】→【齿轮（G）】命令，或单击“模型”工具栏上的【齿轮】工具按钮，系统弹出“齿轮副定义”对话框，如图 3.46 所示。

1.　【名称】选项组

【名称】文本框是对设计的齿轮副连接进行命名的，系统默认为 GearPair1、GearPair2、GearPair3 依次递增，也可以键入自己喜欢的名称。

2.　【类型】选项组

【类型】下拉列表框中列出齿轮副的连接类型：一般、正、斜坡口、蜗轮、齿条和齿轮五种类型，如图 3.46 所示，下面分别介绍每种连接类型的设置方法。

（1）“一般”选项：在【类型】下拉列表框中选择“一般”选项，用于定义直齿圆柱齿轮连接。需要设置齿轮 1、齿轮 2、属性 3 个选项卡。

❑　【齿轮 1】选项卡

【运动轴】选项组用于设置齿轮 1 连接轴，单击文本框前的箭头按钮，选择齿轮 1 的连接轴；



注意

必须在装配平台中添加具有旋转轴的连接类型，如销钉连接，否则，无法选择连接轴。

【主体】选项组用于定义主体和托架，只需选定由机构连接定义出来的与齿轮本体相关的旋转轴，系统自动将产生这根轴的两个主体设定为“齿轮”(或“小齿轮”、“齿条”)和“托架”，“托架”一般就是用来安装齿轮的主体，它一般是静止的，如果系统选反了，可用“反向”按钮将齿轮与托架主体交换。

【节圆】选项组用于定义齿轮节圆，定义齿轮时将齿轮的实际节圆直径输入到直径文本框中。

【图标位置】选项组用于显示节圆和连接轴零点参考。定义齿轮后，每一个齿轮都有一个图标，以显示这里定义了一个齿轮，一条虚线把两个图标的中心连起来。默认情况下，齿轮图标在所选连接轴的零点，图标位置也可自定义，单击【图标位置】文本框前的箭头按钮，点选一个点，图标将平移到那个点所在平面上。图标的位置只是一视觉效果，不会对分析产生影响。

- 【齿轮 2】选项卡

【齿轮 2】选项卡的设置同【齿轮 1】选项卡的设置，只是在【运动轴】文本后多了一个调整两齿轮间相对旋转方向按钮。

- 【属性】选项卡

单击【属性】选项卡，“齿轮副定义”对话框更新为如图 3.47 所示。

前面在【齿轮 1】、【齿轮 2】、【节圆】选项组中定义齿轮啮合时齿轮的实际节圆直径。在“属性”选项卡中，齿轮比有两种定义方式：节圆直径、用户定义。

在【齿轮比】下拉列表框中选择“节圆直径”选项，D1、D2 由系统自动根据前两个页面里的数值计算出来，不可改动；在【齿轮比】下拉列表框中选择“用户定义的”选项，在 D1、D2 文本框中键入 D1、D2 数值，齿轮转速比由此处输入的 D1、D2 确定，前两个选项卡中键入的节圆直径不起作用。转速比为节圆直径比的倒数，即：齿轮 1 转速/齿轮 2 转速=齿轮 2 节圆直径/齿轮 1 节圆直径=D2/D1。



注意

ProEngineer Wildfire 5.0 里的齿轮连接，只需要指定一个旋转轴和节圆参数就可以了。因此，齿轮的具体形状可以不用做出来，即使是两个圆柱，也可以在它们之间定义

一个齿轮连接。两个齿轮应使用公共的托架主体，如果没有公共的托架主体，分析时系统将创建一个不可见的内部主体作为公共托架主体，此主体的质量等于最小主体质量的千分之一。并且在运行与力相关的分析（动态、力平衡、静态）时，会提示指出没有公共托架主体。

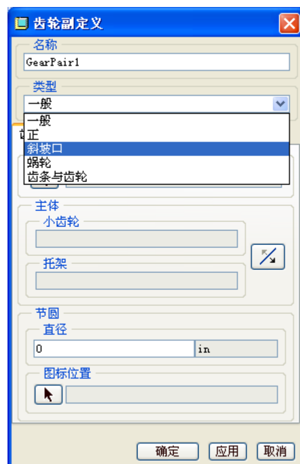


图 3.46　“齿轮副定义”对话框



图 3.47　【属性】选项卡

（2）“正”选项：在【类型】下拉列表框中选择“正”选项，用于定义斜齿圆柱齿轮连接。需要对齿轮 1、齿轮 2、属性 3 个选项卡进行设置。齿轮 1、齿轮 2、属性 3 个选项卡的设置方法与“一般”选项设置相似，只是在【属性】选项卡中增加了压力角和螺旋角设置项，如图 3.48 所示，只需在【Pressure Angle】（压力角）文本框中键入啮合齿轮的压力角，在【Helix Angle】（螺旋角）文本框中键入啮合齿轮的螺旋角。

（3）“斜坡口”选项：在【类型】下拉列表框中选择“斜坡口”选项，用于定义斜齿圆锥齿轮连接。需要对齿轮 1、齿轮 2、属性 3 个选项卡进行设置。齿轮 1、齿轮 2、属性 3 个选项卡的设置方法与“正”选项设置相似，只是在【属性】选项卡中增加了锥度角设置项，如图 3.49 所示。【Bevel Angle Gear1】（锥度角）和【Bevel Angle Gear2】（锥度角）文本框用于定义啮合齿轮的锥度角。

（4）“蜗轮”选项：在【类型】下拉列表框中选择“蜗轮”选项，“齿轮副”对话框更新为如图 3.50 所示，该对话框用于定义蜗轮蜗杆连接。需要对蜗轮、轮盘、属性 3 个选项卡进行设置。蜗轮、轮盘、属性 3 个人选项卡的设置方法与“一般”选项设置相似，只是在【属性】选项卡中增加了净齿轮比、压力角、螺旋角设置项，如图 3.51 所示。【Pressure Angle】（压力角）文本框由于定义啮合蜗轮的压力角，【Screw Angle】（螺旋角）文本框用于定义轮盘的螺旋角。

（5）“齿条与齿轮”选项：在【类型】下拉列表框中选择“齿条与齿轮”选项，“齿轮副定义”对话框更新为图 3.52 所示，该对话框用于定义蜗轮蜗杆连接。需要对蜗轮、轮盘、属性 3 个选项卡进行设置。蜗轮、轮盘、属性 3 个选项卡的设置方法与“一般”

选项设置相似，只是在【齿条】选项卡中减少【节圆】选项组的设置；【属性】选项卡中增加了压力角、螺旋角设置项，如图 3.53 所示。【Pressure Angle】（压力角）文本框由于定义啮合齿轮的压力角，在【Helix Angle】（螺旋角）文本框中键入啮合齿条的螺旋角。

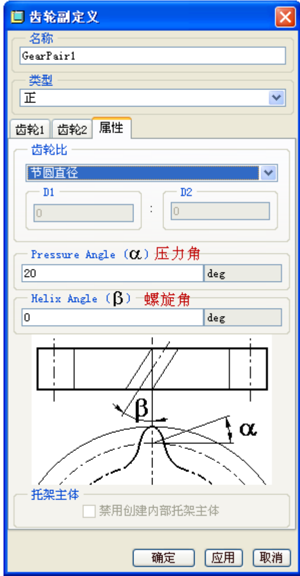


图 3.48　【属性】选项卡

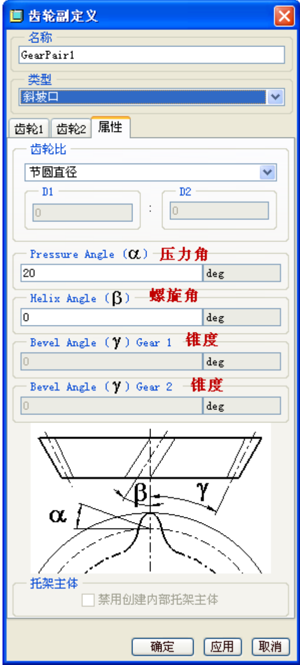


图 3.49　【属性】选项卡



图 3.50　“蜗轮选项”对话框

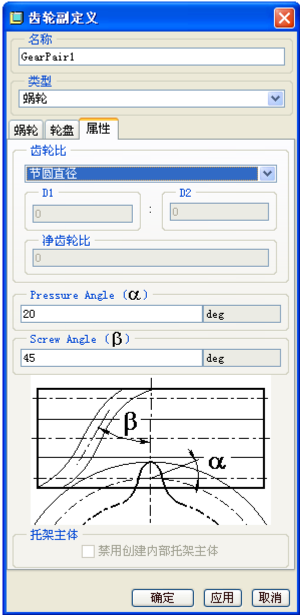
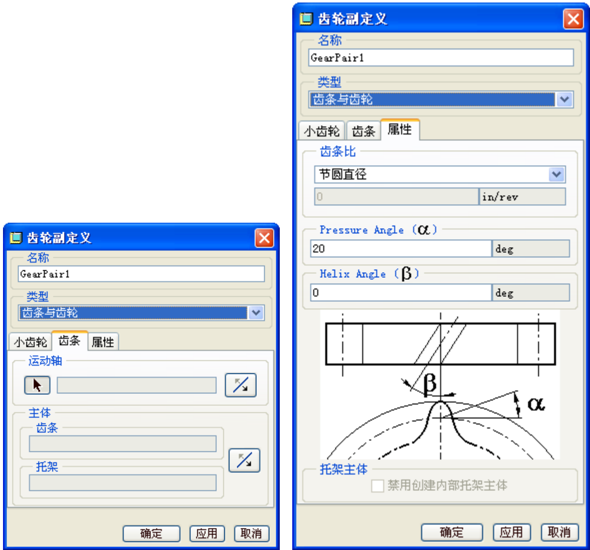


图 3.51　【属性】选项卡

下面以如图 3.54 所示的两直齿圆柱齿轮连接为例，讲解【齿轮】工具的使用方法。



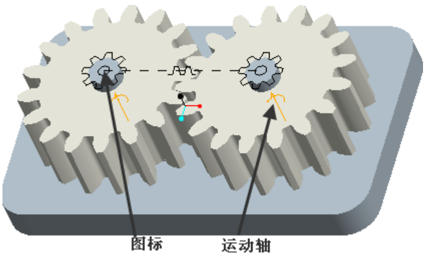


图 3.52　“齿条与齿轮”选项　图 3.53　【属性】选项卡　　　图 3.54　齿轮连接

（1）分析机构连接方式：该齿轮机构是将旋转运动方式改变成反向，所以两齿轮需要进行销钉连接。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择齿轮零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

（3）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 CL，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择元件 a.prt 加载到当前工作台中。

（5）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（6）单击【完成】按钮，完成主体的固定，效果如图 3.55 所示。

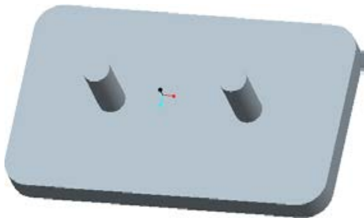


图 3.55　主体

（7）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框

框，选择元件 b.prt 加载到当前工作台中。

（8）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，如图 3.56 所示，在【集类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项。

（9）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 上销轴的轴线和元件 b.prt 的孔的轴线，如图 3.37 所示。

（10）选中“平移”选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 和元件 b.prt 的结合面。

（11）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成销钉连接。

（12）使用同样的方法再加载元件 b.prt 并且与元件 a.prt 建立销钉连接。

（13）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（14）选择菜单栏中的【插入（I）】→【齿轮（G）】命令，或单击“模型”工具栏上的【齿轮】工具按钮，系统弹出“齿轮副定义”对话框。

（15）单击【齿轮 1】选项卡，单击【运动轴】选项组中的箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，如图 3.58 所示，在 3D 模型中选择在装配平台中建立的销钉连接轴，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮。

（16）在【节圆】选项组中【直径】文本框中键入 12.5mm。

（17）单击【图标位置】选项组中的箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取一点，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，完成齿轮 1 的连接定义。

（18）单击【齿轮 2】选项卡，使用同样的方法连接齿轮 2，完成齿轮副的连接。

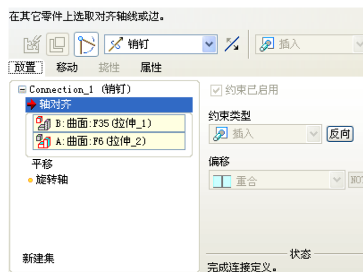


图 3.56　销钉连接对话框

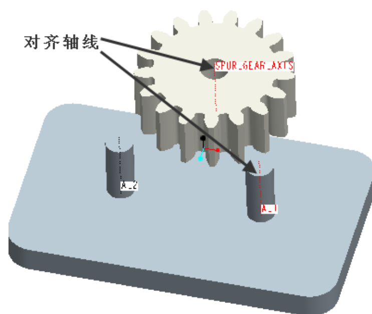


图 3.57　轴对齐约束



图 3.58　齿轮副定义对话框

3.2.4　传动带连接

【传动带】工具，是通过两带轮曲面与带平面重合连接的工具。带传动是由两个

带轮和一根紧绕在两轮上的传动带组成，靠带与带轮接触面之间的摩擦力来传递运动和动力的一种挠性摩擦传动。

下面以如图 3.59 所示传动带系统为例，讲解【传动带】工具的使用方法。

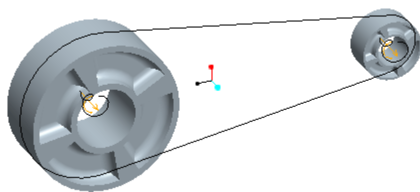


图 3.59　带传动

（1）分析图中机构连接方式：该带传动机构是将旋转运动从输入轴传递到输出轴上，可以适用于远距离传递，所以两带轮在装配中进行销钉连接。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择带轮零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

（3）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 DL，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（4）选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【创建（C）】命令，或者单击“工程特征”工具栏上的【创建】工具按钮，系统弹出“元件创建”对话框，如图 3.60 所示。

（5）点选【骨架模型】单选按钮，单击【确定】按钮，系统弹出“创建选项”对话框，如图 3.61 所示。

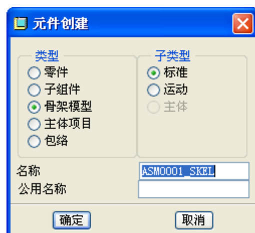


图 3.60　“元件创建”对话框

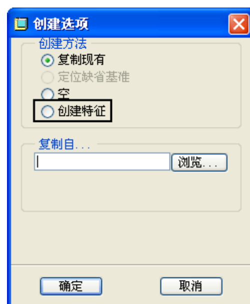


图 3.61　“ 创建选项”对话框

（6）点选【创建特征】单选按钮，单击【确定】按钮，完成带传动骨架的设计。

（7）选择菜单栏中的【插入（I）】→【模型基准（D）】→【轴（X）】命令，或者单击“基准”工具栏上的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，如图 3.62 所示。

（8）在工作区选择基准平面 ASM_RIGHT，按<Ctrl>键在工作区选择基准平面

ASM_TOP，该基准平面添加到基准轴参考列表框中，如图 3.62 所示，单击【确定】按钮，完成基准轴 1 的创建。

（9）选择菜单栏中的【插入（I）】→【模型基准（D）】→【轴（X）】命令，或者单击“基准”工具栏上的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框。

（10）在工作区选择基准平面 ASM_FRONT，效果如图 3.63 所示，分别拖动图中两个绿色方块到基准平面 ASM_RIGHT 和基准平面 ASM_TOP。

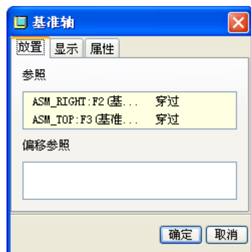


图 3.62 “基准轴”对话框

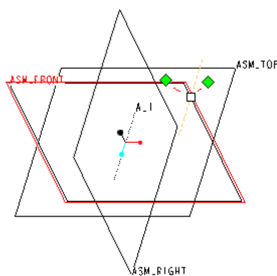


图 3.63 基准轴

（11）此时，在创建的基准轴与参考平面之间出现数值，双击更改数值为 0 和 100，单击基准轴对话框中的【确定】按钮，完成基准轴 2 的创建，最终效果如图 3.64 所示。

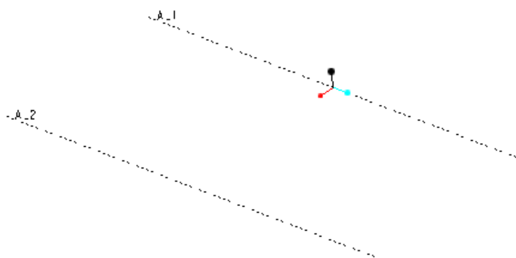


图 3.64 创建的基准轴

（12）选择【窗口（W）】→【激活（A）】命令，激活当前工作模块，进入装配工作台。

（13）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择元件 a.prt 加载到当前工作台中。

（14）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【集类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项。

（15）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 孔的轴线和基准轴 A_1，如图 3.65 所示。

（16）选中“平移”连接选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 的端面和基准平面 ASM_FRONT，如图 3.66 所示。

（17）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成大带

轮销钉连接。

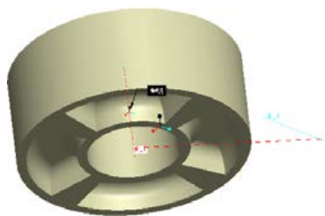


图 3.65　轴对齐约束

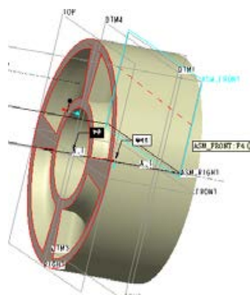


图 3.66　平移

（18）使用同样的销钉连接方式将元件 b.prt 与基准轴 A_2 进行轴对齐，元件 b.prt 的端面和基准平面 ASM_FRONT 进行偏移 5mm 平移。

（19）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（20）选择菜单栏中的【插入（I）】→【带（B）】命令，或单击“模型”工具栏上的【传动带】工具按钮，信息提示栏显示传动带定义对话框，如图 3.67 所示。

（21）按 Ctrl 键，在 3D 图中选择两带轮的曲面，如图 3.68 所示。

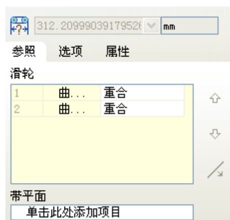


图 3.67　传动带定义对话框

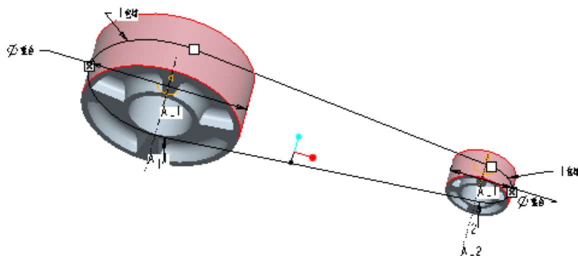


图 3.68　选择的带轮的曲面

（22）单击【带平面】文本框，在 3D 图中选择小带轮的端面。

（23）单击信息提示栏中的【完成】按钮，完成了带传动的设计，带传动连接添加到模型树和机构树中，如图 3.69 所示。



图 3.69　模型树和机构树

3.3 调节连接方式

在机构进行连接过程中，常常会出现元件位置放置不合理现象，使得连接设置无法快速定位，可通过手动方式直接移动或旋转元件到一个比较合适的位置。该过程主要是通过元件“放置”对话框中的【移动】选项卡，如图 3.70 所示，完成元件的调整。

1. 【运动类型】下拉列表框

【运动类型】下拉列表框用于选择手动调整元件的方式。

❑ 选择“定向模式”选项，可相对于特定几何重定向视图，并可更改视图重定向样式，可以提供除标准的旋转、平移、缩放之外的更多查看功能。

❑ 选择“平移”选项，单击机构上的一点，可以平行移动元件。

❑ 选择“旋转”选项，单击机构上的一点，可以旋转元件。

❑ 选择“调整”选项，可以根据后面的运动参照类型，选择元件上的曲面调整到参照面、边、坐标系等。选择调整，系统弹出如图 3.71 所示的“选取”对话框。

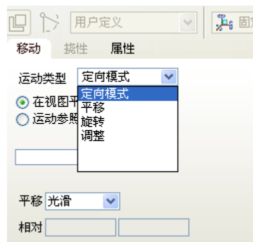


图 3.70 【移动】选项卡



图 3.71 “选取”对话框

2. 【在视图平面中相对】单选按钮

点选【在视图平面中相对】单选按钮，调整元件的参考为系统默认参考坐标系。

3. 【运动参照】单选按钮

点选【运动参照】单选按钮，在图中选择运动参照对象，可以是点、线、面、基准特征等几何特征，根据选择的运动参照不同，参照方式不同，例如选择平面，其后就会出现法向和平行两个单选按钮供选择。

4. 运动增量设置运动位置改变大小的方式

（1）当在【运动类型】下拉列表框中选择“定向模式”、“平移”选项时，运动增量方式为平移方式。【平移】下拉列表框列出光滑、1、5、10 四个选项，也可以自定义键入数值。选择“光滑”选项，一次可以移动任意长度的距离。其余是按所选的长度每次移动相应的距离。

（2）当在【运动类型】下拉列表框中选择“旋转”选项时，运动增量方式为旋转方式，如图 3.72 所示。“选转”下拉框列出光滑、5、10、30、45、90 六个选项，也可以自定义键入数值。其中光滑为每次旋转任意角度。其余是按所选的角度每次旋转相应的

角度。

（3）当在【运动类型】下拉列表框中选择“调整”选项时，对话框中添加【调整参照】选项组，如图 3.73 所示，单击文本框，选择曲面（只能选择曲面），如果点选【运动参照】单选按钮，并且选择参照对象，【匹配】、【对齐】单选按钮和【偏移】文本框可用。可以使用这些选项定义调整量。

5. 【相对】文本框

【相对】文本框用于显示元件使用鼠标移动的距离。

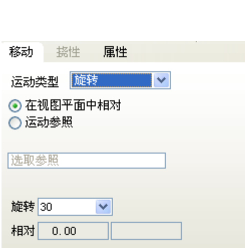


图 3.72 “旋转”选项



图 3.73 “调整”选项

3.4 定义运动机构

定义完连接后，元件就能相对主体进行一定的运动，可以进行机构设置，以进一步设定运动的优先、再生优先选项等。单击“机构”工具栏上的【机构设置】工具按钮，系统弹出“设置”对话框，如图 3.74 所示。该对话框的内容如下所述：

1. 【组件连接失败时发出警告】复选框

勾选【重新连接】选项组中的【组件连接失败时发出警告】复选框，表示组件连接失败时，发出警告对话框。

2. 【运行优先选项】选项组

【运行优先选项】选项组表示运行过程中的一些设置选项。

- 点选【分析运行失败时暂停】单选按钮，表示在机构分析运行过程中如果发生失败，分析运行暂停。
- 点选【分析运行失败时继续】单选按钮，表示机构在分析运行过程中如果发生失败，分析运行继续进行后续的分析。
- 勾选【运行过程中的图形显示】复选框，表示机构在分析运行过程中，将以图形显示分析过程。运行过程中关闭该项，可以改善分析运行性能。

3. 【再生优先选项】选项组

【再生优先选项】选项组用于定义机构再生过程中运行结果的优先处理方法设置

- 点选【再生时移除运行结果】单选按钮，表示机构发生再生时，将运行结果移除；

- 点选【再生时维护运行结果】单选按钮，表示机构发生再生时，保留运行结果；
- 勾选【使用再生值】复选框，表示再生模型时，考虑再生值。

4. 【相对公差】文本框

【相对公差】文本框用于设置机构的分析运行相对公差，该值为绝对公差和特征长度倒数的乘积，缺省值为 0.001。该值必须大于 1.0×10-10 且小于 0.1，否则系统弹出“信息”对话框，如图 3.75 所示。

5. 【特征长度】选项组

【特征长度】选项组用于设置机构的特征长度。

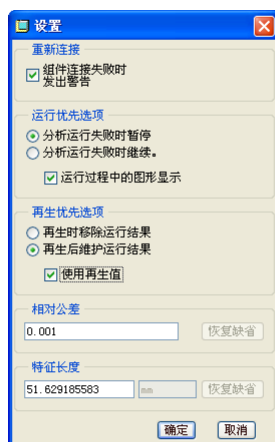


图 3.74 “设置”对话框

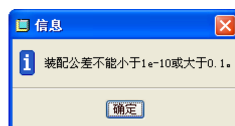


图 3.75 “信息”对话框

3.5 拖动和快照

定义完连接后，可以使用拖动功能，来查看定义是否正确，连接轴是否可以按设想的方式运动。可使用快照创建分析的起始点，或将组件放置到特定的配置中。可以使用接头禁用和主体锁定功能来研究整个机构或部分机构的运动。选择【视图（V）】→【方向（O）】→【拖动】或直接单击【视图】工具栏上的【拖动】工具按钮图标 ，系统弹出“拖动”对话框，如图 3.76 所示。



图 3.76 “拖动”对话框

1. 【拖动点】工具按钮

选中【拖动点】工具按钮，系统弹出“选取”对话框，在主体上选取某一点，该点会突出显示，并随光标移动，同时保持连接。该点不能为基础主体上的点。

2. 【拖动主体】工具按钮

选中【拖动主体】工具按钮，系统弹出“选取”对话框，该主体突出显示，并随光标移动，同时保持连接。不能拖动基础主体。

所谓的基础主体，就是在装配中添加元件或新建组件时，按【固定】按钮接受缺省约束定义为基础主体。

3. 【快照】选项卡

单击【快照】左侧三角，展开快照选项卡，如图 3.77 所示。

（1）单击【当前快照】选项组中的【拍下当前配置的快照】按钮给机构拍照，在其后的文本框中显示快照的名称，系统默认为 Snapshot 也可以更改，并添加到快照列表框中，如图 3.77 所示。拖动到一个新位置时，单击此按钮可以再次给机构拍照，同时该照添加到快照列表中。

（2）【快照】选项卡用于对快照进行编辑，选中列表中的快照，单击左侧工具进行快照编辑，或者右键单击选中的快照，系统弹出快捷菜单，如图 3.78 所示，快捷菜单中的工具与左侧工具使用方法与作用完全相同。



图 3.77　【快照】选项卡

❑　【显示选定快照】工具按钮，在列表中选定快照后单击此按钮可以显示该快照中机构的具体位置。

❑　【从其他快照中借用零件位置】工具按钮，用于复制其他快照。在列表框中选中需要借用其他快照中零件位置的快照，单击该按钮，系统弹出“快照构建”对话框，如图 3.79 所示，在对话框列表中选取其他快照零件位置用于新快照，单击【确定】按钮完成快照的借用。

❑　【将选定快照更新为屏幕上的当前位置】工具按钮，在列表框中选中将改变为当前屏幕上的当前位置的快照，单击该按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择一特征后单击【确定】按钮完成快照的改变。该工具相当于改变列表框中快照的名称。

❑　【使选定快照可用于绘图】工具按钮，可用于 Pro/Engineer Wildfire 分解状态，分解状态可用 Pro/Engineer Wildfire 绘图视图中。单击此按钮时，在列表上的快照旁添加一个图标。

❑　【删除选定快照】工具按钮，将选定快照从列表中删除。

（3）【约束】选项卡，如图 3.80 所示，通过选中或清除列表中所选约束旁的复选框，可打开和关闭约束。也可使用左侧工具按钮进行临时约束。

❑　【对齐两个图元】工具按钮，通过选取两个点、两条线或两个平面对元件进行对齐约束。这些图元将在拖动操作期间保持对齐。

❑ 【匹配两个图元】工具按钮，通过选取两个平面，创建匹配约束。两平面在拖动操作期间将保持相互匹配。

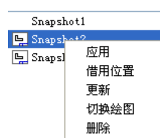


图 3.78 快捷菜



图 3.79 快照构建

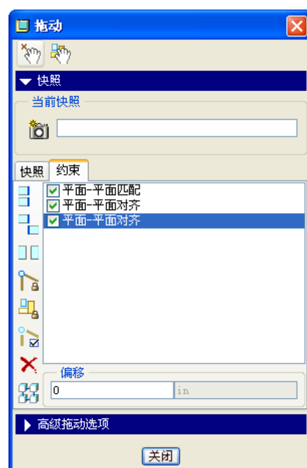


图 3.80 【约束】选项卡

❑ 【定向两个曲面】工具按钮，通过选择两个平面，在【偏移】文本框中定义两屏幕夹角，使其互成一定角度。

❑ 【活动轴约束】工具按钮，通过选取连接轴以指定连接轴的位置，指定后主体将不能拖动。

❑ 【主体－主体锁定约束】工具按钮，通过选取主体，可以锁定主体。

❑ 【启动/禁止连接】工具按钮，通过选取连接，该连接被禁用。

❑ 【删除选定约束】工具按钮，从列表中删除选定临时约束。

❑ 【仅基于约束重新连接】工具按钮，使用所应用的临时约束来装配模型。

（4）单击【高级拖动选项】右侧三角，展开“高级拖动”对话框，如图 3.81 所示，该对话框的内容如下所述：

❑ 【封装移动】工具按钮，允许进行封装移动，单击该工具按钮，系统弹出“移动”对话框，如图 3.82 所示，该对话框的使用方法参见 3.3 小节（调节连接方式）。

❑ 【选定当前坐标系】工具按钮，指定当前坐标系。通过选择主体来选取一个坐标系，所选主体的默认坐标系是要使用的坐标系。X、Y 或 Z 平移或旋转将在该坐标系中进行。

❑ 【X 向平移】工具按钮，指定沿当前坐标系的 X 方向平移。

❑ 【Y 向移动】工具按钮，指定沿当前坐标系的 Y 方向平移。

❑ 【Z 向移动】工具按钮，指定沿当前坐标系的 Z 方向平移。

❑ 【绕 X 旋转】工具按钮，指定绕当前坐标系的 X 轴旋转。

❑ 【绕 Y 旋转】工具按钮，指定绕当前坐标系的 Y 轴旋转。

❑ 【绕 Z 旋转】工具按钮，指定绕当前坐标系的 Z 轴旋转。

❑ 【参照坐标系】选项组用于指定当前模型中的坐标系，单击选取箭头按钮，在当前 3D 模型中选取坐标系。

❑ 【拖动点位置】选项组用于实时显示拖动点相对于选定坐标系的 X、Y 和 Z 坐标。

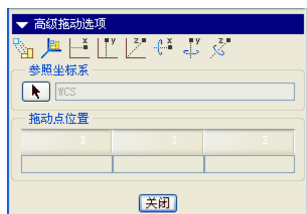


图 3.81　“高级拖动”对话框



图 3.82　“移动”对话框

3.6　定义伺服电动机

定义完连接后就需要给机构添加伺服电动机才能驱使机构运动。选择【插入（I）】→【伺服电动机（V）】命令，或直接单击“模型”工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，系统弹出“伺服电动机定义”对话框，如图 3.83 所示。

1. 【名称】选项组

【名称】选项组用于定义机构伺服电动机名称，系统默认为 ServoMotor1，也可以更改为其他。

2. 【类型】选项卡

【类型】选项卡用于定义伺服电动机的类型和方向等参数。【从动图元】选项组用于定义伺服电动机要驱动图元类型：连接轴、点和面等几何参数。

❑ 点选【运动轴】单选按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取在“机械设计”模块中添加的连接轴，文本框中显示选取的连接轴，如图 3.83 所示。

❑ 点选【几何】单选按钮，伺服电动机定义对话框更新为如图 3.84 所示，同时系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取运动的几何元素，可以是点或面。

❑ 【参照图元】选项组用于定义几何元素运动图元的参照，可以是任意的点或面。

❑ 【运动方向】选项组用于定义运动图元的运动方向，只能选取直线或曲线。

❑ 【运动类型】选项组用于指定伺服电动机的运动方式：平移、旋转。

❑ 【反向】工具按钮用于改变伺服电动机的运动方向 ，单击该按钮则机构中伺服电动机黄色箭头指向相反的方向。



图 3.83 “伺服电动机定义”对话框



图 3.84 “伺服电动机定义”对话框

3. 【轮廓】选项卡

【轮廓】选项卡，如图 3.85 所示，用于定义伺服电动机的位置、转速、加转速等参数。

（1）【规范】选项组：单击【定义运动轴设置】按钮，可以调出“连接轴设置”对话框，可以在其后的下拉列表框中选择转速、加转速、位置 3 种类型。对于不同的选项，相应会有不同的对话框出现。

❑ 在下拉列表框中选择“位置”选项，单击【定义运动轴设置】按钮直接调用“连接轴设置”对话框设置连接轴。选定的连接轴将以洋红色箭头标示，同时高亮显示绿色和橙色主体，如图 3.86 所示。

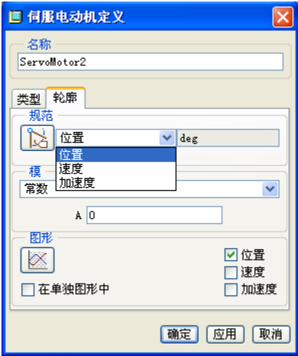


图 3.85 “位置”选项

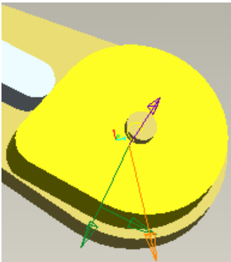


图 3.86 连接轴位置

❑ 在下拉列表框选择“转速”选项，如图 3.87 所示，“伺服电动机定义”对话框出现【始初始角】选项组。勾选【当前】复选框，则机构以当前位置为准；也可以输入一个角度后按【预览位置】工具按钮使机构的零位置变为数字所指示的位置。如图 3.88

所示为初始位置和旋转 60° 位置。

❑ 在下拉列表框中选择“加转速”选项，如图 3.89 所示，“伺服电动机定义”对话框在出现【初始角】选项组的同时，增加了一个【初始角转速】选项组，可以定义初始角转速的大小。



图 3.87　“转速”选项

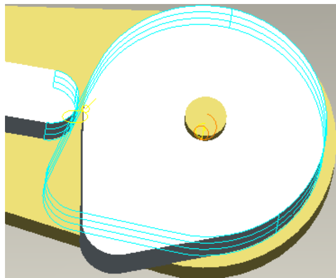


图 3.88　选中后 3D 效果图



图 3.89　“加转速”选项

（2）【模】选项组用于定义电动机的运动方程式。在下拉组框中有常数、余弦、斜坡、余弦、SCCA、摆线、抛物线、多项式、表、用户定义的等 9 种类型，选择每一种类型都有对应的对话框弹出。这几种类型如下：

❑ 在【模】下拉列表框中选择“常数”选项，如图 3.90 所示，轮廓为恒定。只需在【A】文本框中键入数值，机构就以该数值建立的方程式 q＝A（其中 A 为常数）为机构运动方程式。

❑ 在【模】下拉列表框中选择“斜坡”选项，如图 3.91 所示轮廓随时间做线性变化。只需在【A】、【B】文本框中键入数值，机构就以该数值建立的方程式 q＝A＋B×X（其中 A 为常数，B 为斜率）为机构运动方程式。

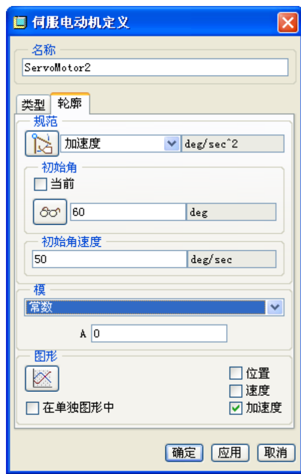


图 3.90　“常数”选项

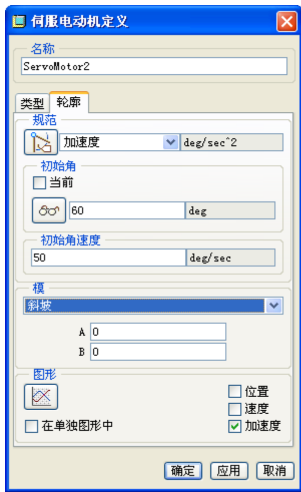


图 3.91　“斜坡”选项

❑ 在【模】下拉列表框中选择“余弦”选项，如图 3.92 所示，轮廓为余弦曲线。只需在【A】、【B】、【C】、【T】文本框中键入数值，机构就以该数值建立的方程式

q＝A×cos（360×X/T＋B）＋C（其中 A 为振幅，B 为相位，C 为偏移量，T 为周期）为机构运动方程式。

❑ 在【模】下拉列表框中选择“SCCA”选项，如图 3.93 所示，用于凸轮轮廓输出。当选择该选项时，对话框自动选择加转速为规范，且变为灰色不可选状，只需在【A】、【B】、【H】、【T】文本框中键入数值。

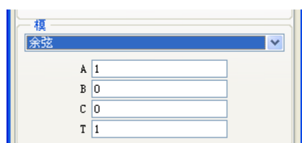


图 3.92 “余弦”选项

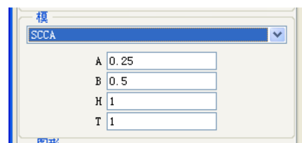


图 3.93 “SCCA”选项

❑ 在【模】下拉列表框中选择“摆线”选项，如图 3.94 所示，模拟凸轮轮廓输出。只需在【L】、【T】文本框中键入数值，机构就以该数值建立的摆线方程式 q＝L×X/T-L×sin（2×π×X/T）/2×π(其中 L 为总高度，T 为周期)为机构运动方程式。

❑ 在【模】下拉列表框中选择“抛物线”选项，如图 3.95 所示，模拟电动机的轨迹为抛物线。只需在【A】、【B】文本框中键入数值，机构就以该数值建立的抛物线方程式 q＝A×X＋1/2BX2(其中 A 为线性系数，B 为二次项系数)为机构运动方程式。

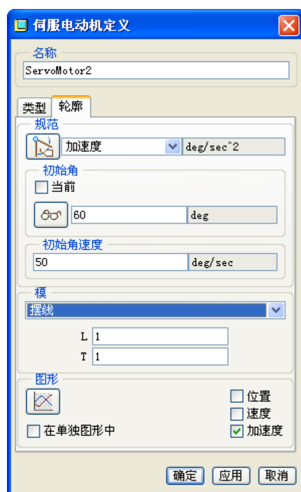


图 3.94 “摆线”选项

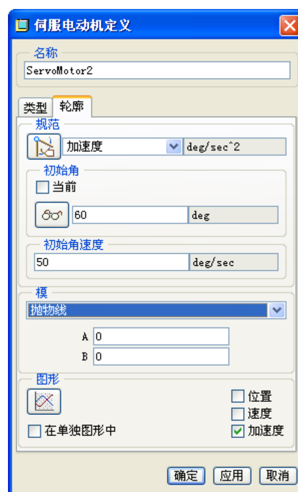


图 3.95 “抛物线”选项

❑ 在【模】下拉列表框中选择“多项式”选项，如图 3.96 所示，用于一般电动机轮廓。只需在【A】、【B】、【C】、【D】文本框中键入数值，机构就以该数值建立的多项式方程式 q＝A＋B×X＋C×X2＋D×X3（其中 A 为常数，B 为线性项系数，C 为二次项系数，D 为 3 次项系数）为机构运动方程式。

❑ 在【模】下拉列表框中选择“表”选项，如图 3.97 所示。

（1）勾选【使用外部文件】复选按钮，单击【打开】按钮，选择外部表。

（2）右侧【向表中添加行】按钮用于在表中添加一行，【从表中删除行】按钮

用于从表中删除选中的行。

（3）单击【打开】按钮，选择扩展名为“*.tab”的机械表数据文件。该文件包括“时间”栏和“模”栏，时间是电动机运行的时间段，在“模”栏中是电动机的参数，包括位置、转速、加转速等。需要用记事本编辑，如图 3.98 所示，编辑后保存扩展名为“.tab”的文件。

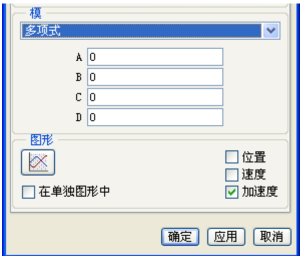


图 3.96　“多项式”选项



图 3.97　“表”选项

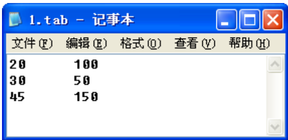


图 3.98　表编辑

（4）单击【从文件导入数据表】工具按钮，系统将打开的机械数据表文件加载到列表框中，单击【将表数据导出到文件】工具按钮，系统将列表框中的表导出到机械数据表文件中。

❑ 在【模】下拉列表框中选择“多项式”选项，如图 3.99 所示，用于定义自定义轮廓。

（1）【添加表达式段】工具按钮用于在列表框中添加表达式；

（2）【删除表达式段】工具按钮用于将选中列表框中的表达式删除；

（3）【编辑表达式段】工具按钮用于编辑选中列表中的表达式段。单击该工具按钮，系统弹出“表达式定义”对话框，如图 3.100 所示。

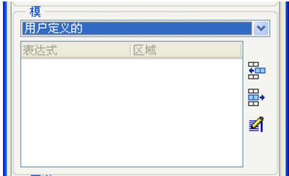


图 3.99　“用户定义的”选项

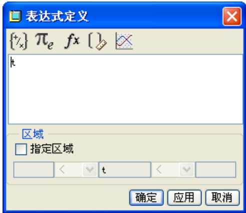


图 3.100　“表达式定义”对话框

4. 【图形】选项组

【图形】选项组，如图 3.101 所示，它是以图形形式表示轮廓，使之以更加直观的形式来查看。

❑ 【绘制所选电动机轮廓相对于时间的图形】工具按钮用于显示“图形工具”对话框，如图 3.102 所示。

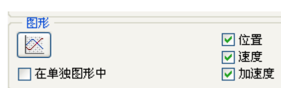


图 3.101 【图形】选项组

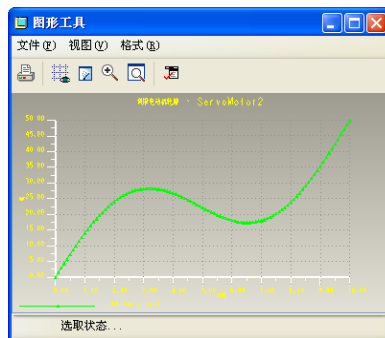


图 3.102 抛物线位置图

（1）【打印图形】工具按钮用于打印当前图中的图形。

（2）【切换栅格线】工具按钮用于切换当前图形工具中是否显示栅格，单击该工具按钮图 3.102 所示图形就取消栅格显示，效果如图 3.103 所示。

（3）【重画当前视图】工具按钮用于将当前视图中图形重新生成。

（4）【放大】工具按钮用于将图形放大，有利于进行观察。

（5）【重新调整】工具按钮用于重新调整当前视图中图形以合适的比例显示。

（6）单击【格式化图形对话框】工具按钮，系统弹出“图形窗口选项”对话框，如图 3.104 所示。【Y 轴】选项卡用于定义图形在 Y 轴方向的图形、轴标签、文本样式、栅格、轴等显示图元的显示设置；【X 轴】选项卡用于定义图形在 X 轴方向的图形、轴标签、文本样式、栅格、轴等显示图元的显示设置；【数据系列】选项卡用于定义图形中 X、Y 轴数据、图例、文本样式等显示图元的显示设置；【图形显示】选项卡用于定义图形中标签、背景、曲线、文本样式等图形元素的显示设置。

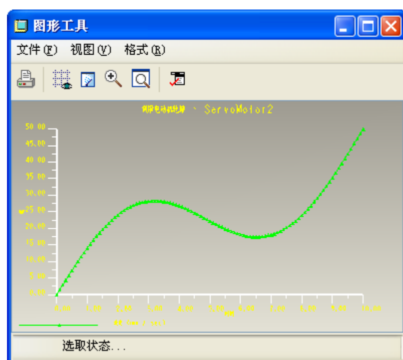


图 3.103 不显示栅格

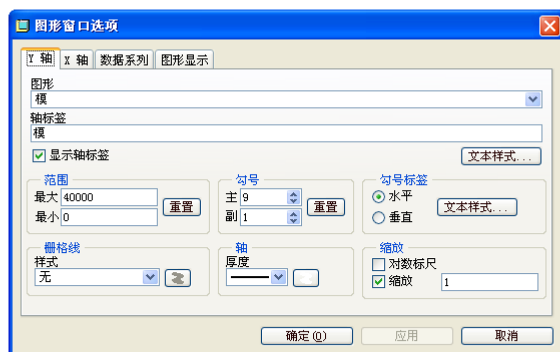


图 3.104 “图形窗口选项”对话框

❑　【位置】复选框用于在图形中只显示出位置随时间的关系曲线。例如在【模】下拉列表框中选择“抛物线”选项，在【A】文本框中键入 100，在【B】文本框中键入 50，勾选【位置】复选框，单击【绘制所选电动机轮廓相对于时间的图形】工具按钮，系统弹出“图形工具”对话框，如图 3.105 所示。

❑　【转速】复选框用于在图形中只显示出转速随时间的关系曲线。例如在【模】下拉列表框中选择“抛物线”选项，在【A】文本框中键入 100，在【B】文本框中键入 50，勾选【转速】复选框，单击【绘制所选电动机轮廓相对于时间的图形】工具按钮，系统弹出“图形工具”对话框，如图 3.106 所示。

【加转速】复选框用于在图形中只显示出随时间的关系曲线，例如在【模】下拉列表框中选择“抛物线”选项，在【A】文本框中键入 100，在【B】文本框中键入 50，勾选【加转速】复选框，单击【绘制所选电动机轮廓相对于时间的图形】工具按钮，系统弹出“图形工具”对话框，如图 3.107 所示。

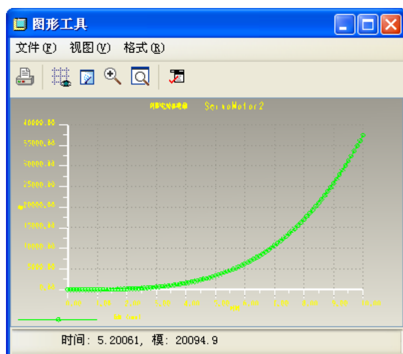


图 3.105　抛物线位置轮廓

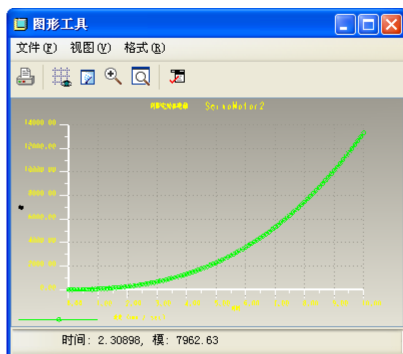


图 3.106　抛物线转速轮廓



图 3.107　抛物线加转速轮廓

❑　【在单独图形中】复选框用于 3 种曲线在单独的图形中显示，取消可以在一个坐标系中显示。下面以模为抛物线为例讲解【在单独图形中】复选框与【位置】、【转速】、【加转速】复选框的组合使用效果。

（1）打开 3.2.1 小节中凸轮例子 tulun.asm。

（2）单击“模型”工具栏上的【伺服电动机定义】工具按钮，系统弹出“伺服电动机定义”对话框。

（3）点选【类型】选项卡中【运动轴】单选按钮，系统弹出“选取”对话框，在3D 模型选取连接轴，单击【确定】按钮。

（4）单击【轮廓】选项卡，在【模】下拉列表框中选择“抛物线”选项，【A】文本框中键入 100，【B】文本框中键入 50。

（5）勾选【位置】、【转速】和【加转速】3 个复选框，单击【绘制所选电动机轮廓相对于时间的图形】工具按钮，系统弹出“图形工具”对话框，效果如图 3.108 所示。

（6）关掉该对话框，在“伺服电动机定义”对话框中勾选【在单独图形中】复选框，单击【绘制所选电动机轮廓相对于时间的图形】工具按钮，系统弹出“图形工具”对话框，效果如图 3.109 所示。

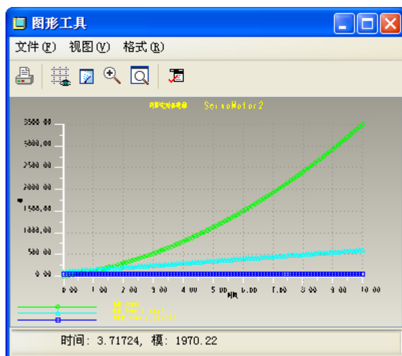


图 3.108　抛物线位置－转速－加转速轮廓

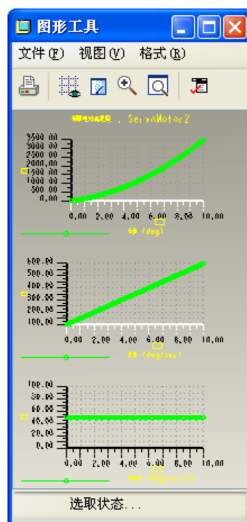


图 3.109　抛物线位置－转速－加转速轮廓

3.7　设置运动环境

机械动力学分析包括多个建模图元，如图 3.110 所示，其中包括弹簧、阻尼器、力/力矩负荷以及重力。可根据电动机所施加的力及其位置、转速或加转速来定义电动机。除重复组件和运动分析外，还可运行动态、静态和力平衡分析。也可创建测量，以监测连接上的力以及点、顶点或连接轴的转速或加转速。



图 3.110　【动态】工具栏

3.7.1　定义重力

【重力】工具，是用于对当前视图中的机构定义重力。选择菜单栏中的【编辑（E）】→【重力（R）】命令，或单击“动态”工具栏上的【重力】工具按钮，系统弹出“重力”对话框，如图 3.111 所示，3D 图中添加了紫色箭头，指向重力方向，如图 3.112 所示。



图 3.111　“重力”对话框

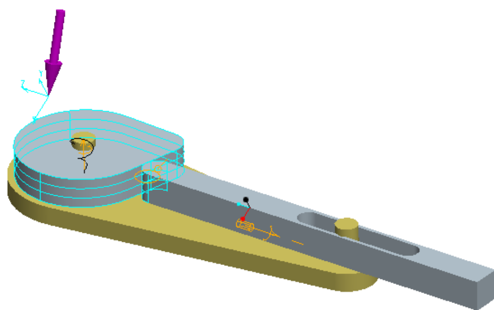


图 3.112　3D 中重力表示方法

1. 【模】文本框

【模】文本框用于定义机构重力加转速大小。模是以“距离/时间的平方”为单位，必须给重力加转速的模输入一个正值，国际单位为mm/s^2。距离单位取决于为组件所选的单位，在“机械设计”模块下选择菜单栏中的【文件（F）】→【属性（I）】命令，系统弹出“模型属性”对话框。单击【单位】文本框后的【更改】按钮，系统弹出“单位管理器”对话框，如图 3.113 所示，选择更改后的单位，单击【关闭】按钮，完成单位的更改。

2. 【方向】选项组

【方向】选项组用于定义重力方向。可以输入 X、 Y、和 Z 坐标，以定义重力加转速力的向量。重力加转速的缺省方向是“全局坐标系（WCS)”的 Y 轴负方向。重力定义完后，模型中会出现指示重力加转速方向的 WCS 图标和箭头，如图 3.112 所示。在进行动态、静态或力平衡分析时，如果要使计算过程中包括重力，需要勾选“分析定义”对话框中【外部负荷】选项卡中的【启用重力】复选框，如图 3.114 所示。

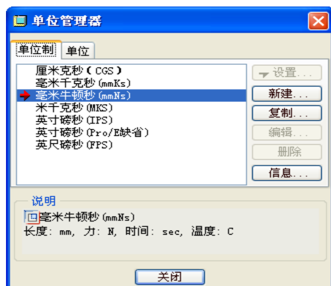


图 3.113　“单位管理器”对话框



图 3.114　“分析定义”对话框

3.7.2　定义执行电动机

【执行电动机】工具，是向机构施加特定负荷的工具。执行电动机引起在两个主体之间、单个自由度内产生特定类型的负荷，一般用在动态分析中。执行电动机通过对平移或旋转连接轴施加力而引起运动。可在每个动态分析的定义中打开和关闭执行电动机。选择【插入（I)】→【执行电动机（V)】命令，或单击“动态”工具栏上的【执行电动机（V)】工具按钮，系统弹出“执行电动机定义”对话框，如图 3.115 所示。



图 3.115　“执行电动机定义”对话框

1. 【名称】文本框

【名称】文本框用于定义添加的执行电动机的名称，系统默认为 ForceMotor，也可以更改为其他。

2. 【运动轴】选项组

【运动轴】选项组的使用方法参见 3.6 小节中相关内容。

3. 【模】选项组

【模】选项组的使用方法参见 3.6 小节中相关内容。

3.7.3　定义弹簧

【弹簧】工具，是使机构产生线性弹力的工具。选择菜单栏中的【插入（I)】→【弹簧（P)】命令，或单击“动态”工具栏上的【弹簧】工具按钮，就进入“弹簧设置”对话框，如图 3.116 所示，该对话框的内容如下所述：

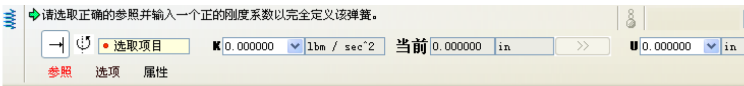


图 3.116　弹簧设置项

- 【延伸或压缩弹簧】工具按钮用于在机构中两点之间添加压缩或延伸弹簧的按钮。

- 【扭矩弹簧】工具按钮用于在连接轴上添加对机构产生扭矩弹簧的按钮。
- 【K】文本框用于定义弹簧的刚度系数。
- 【U】文本框用于定义弹簧的原长。
- 【参照】选项卡用于选取定义弹簧的参照。
- 【选项】选项卡用于调整弹簧直径。
- 【属性】选项卡用于定义添加弹簧的名称，默认为：弹簧_1，也可以更改为其他。

1．创建两点之间弹簧

下面以建立两点之间弹簧和扭矩弹簧为例，讲解弹簧的创建过程。

（1）选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建（N)】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 TH1，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（2）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 a.prt 加载到当前工作台中。

（3）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（4）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（5）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 c.prt 加载到当前工作台中。

（6）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“配对”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【约束类型】下拉列表框中选择“配对”选项。

（7）在 3D 模型中选择元件 a.prt 的表面和元件 c.prt 的下表面。

（8）单击【移动】选项卡，其他选项为默认值，按住鼠标左键，拖动元件 c.prt 在元件 a.prt 合适位置。

（9）使用同样方法再添加一个元件 c.prt 到机构模型，如图 3.117 所示。

（10）选择菜单栏中的【插入（I)】→【弹簧（P)】命令，或单击“动态”工具栏上的【弹簧】工具按钮，就进入“弹簧设置”对话框。

（11）选中【延伸或压缩弹簧】工具按钮，单击【参照】选项卡，按<Ctrl>键，在 3D 模型中选择元件 c.prt 的两个顶点。

（12）单击【选项】选项卡，勾选【调整图标直径】复选框，在【直径】文本框中键入 12。

（13）在【K】文本框中键入 50，【U】文本框中键入 60。

（14）单击【完成】按钮，完成弹簧的创建。

（15）使用同样的方法，再在元件 C.prt 另外两定点之间添加弹簧，最终效果如图 3.118 所示。

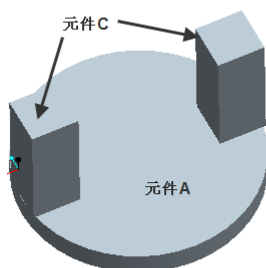


图 3.117　添加弹簧的机构

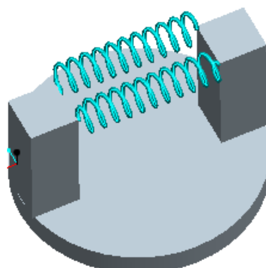


图 3.118　添加弹簧

2．创建扭矩弹簧

下面以如图 3.119 所示图形为例，讲解扭矩弹簧的创建过程。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 TH2，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（2）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 a.prt 加载到当前工作台中。

（3）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（4）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（5）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 b.prt 加载到当前工作台中。

（6）在连接下拉列表框中选择“圆柱”选项。

（7）在 3D 模型中选择元件 a.prt 的圆柱表面和元件 c.prt 的半球面。

（8）单击【移动】选项卡，其他选项为默认值，按住鼠标左键，拖动元件 b.prt 在元件 a.prt 合适位置。

（9）选择菜单栏中的【插入（I）】→【弹簧（P）】命令，或单击“动态”工具栏上的【弹簧】工具按钮，就进入“弹簧设置”对话框。

（10）选中【扭矩弹簧】工具按钮，单击【参照】选项卡，按 Ctrl 键，在 3D 模型中选择“机械设计“模块中创建的连接轴。

（11）在【K】文本框中键入 100，【U】文本框中键入 300。

（12）单击【完成】按钮，完成弹簧的创建，最终效果如图 3.120 所示。

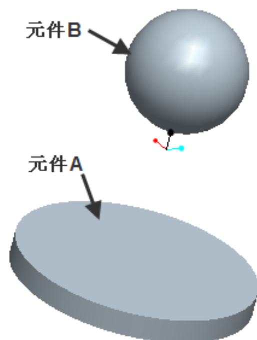


图 3.119　添加弹簧机构

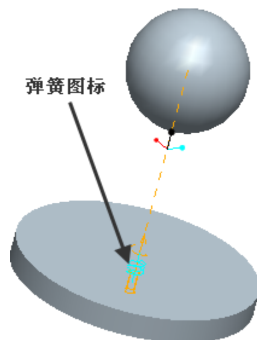


图 3.120　添加的弹簧机构

3.7.4　创建阻尼器

【阻尼器】工具，是作用于连接轴、两主体之间的具有耗散力的工具。选择菜单栏中的【插入（I）】→【阻尼器（M）】命令，或单击“动态”工具栏上的【阻尼器】工具按钮，就进入“阻尼器设置”对话框，如图 3.121 所示。

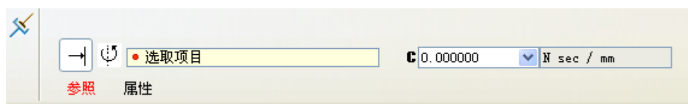


图 3.121　“阻尼器设置”对话框

- 【阻尼器平移运动】工具按钮用于在机构中两点之间添加平移阻尼器的按钮。
- 【阻尼器旋转运动】工具按钮用于在连接轴上添加对机构产生旋转阻尼的按钮。
- 【C】文本框用于定义阻尼器系数。
- 【参照】选项卡用于选取定义阻尼器的参照。
- 【属性】选项卡用于定义添加弹簧的名称，默认为：阻尼器_1，也可以更改为其他。

下面以两点之间创建平移阻尼器为例，讲解阻尼器的创建过程。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 ZN，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（2）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 a.prt 加载到当前工作台中。

（3）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在

【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（4）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（5）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择 c.prt 加载到当前工作台中。

（6）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“配对”选项，或者单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【约束类型】下拉列表框中选择“配对”选项。

（7）在 3D 模型中选择元件 a.prt 的表面和元件 c.prt 的下表面。

（8）单击【移动】选项卡，其他选项为默认值，按住鼠标左键，拖动元件 c.prt 在元件 a.prt 合适位置。

（9）使用同样方法再添加一个元件 c.prt 到机构模型。

（10）选择菜单栏中的【插入（I）】→【阻尼器（M）】命令，或单击“动态”工具栏上的【阻尼器】工具按钮，就进入“阻尼器设置”对话框。

（11）选中【阻尼器平移运动】工具按钮，单击【参照】选项卡，按 Ctrl 键，在 3D 模型中选择元件 c.prt 的两个顶点。

（12）在【C】文本框中键入 100。

（13）单击【完成】按钮，完成阻尼器的创建，效果如图 3.122 所示。

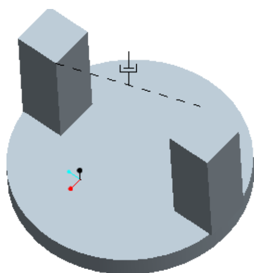


图 3.122　创建的阻尼器

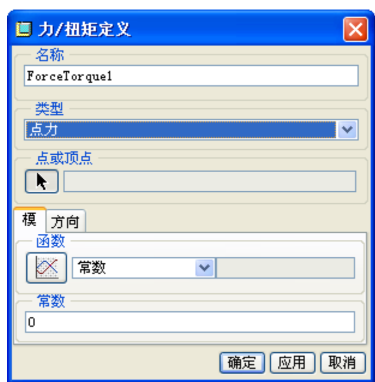
3.7.5　创建力/力矩

【力/力矩】工具，是在机构中应用来自外部的力和力矩，从而仿真外部的力/力矩对机构运动影响的工具。选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩（Q）】命令，或单击“动态”工具栏上的【力/力矩】工具按钮，系统弹出“力/力矩定义”对话框，如图 3.121 所示。

- 【名称】文本框用于定义力/力矩，系统默认为 ForceTorque1，也可以自定义。
- 【类型】下拉列表框用于选择定义的力/力矩的类型：点力、主体扭矩、点对点力 3 种。

（1）在【类型】下拉列表框中选择“点力”选项，单击【点或顶点】选项组中【选

取】箭头，在 3D 模型模型中选择一个点，在该点施加一个力，效果如图 3.124 所示。



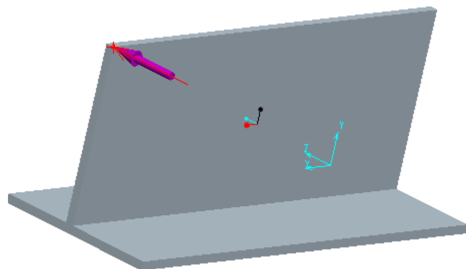


图 3.123　“力/力矩定义”对话框　　　　图 3.124　施加的点力

（2）在【类型】下拉列表框中选择“主体扭矩”选项，如图 3.125 所示，单击【主体】选项组中【选取】箭头，在 3D 模型模型中选择一个主体，在该主体的质心施加一个力矩，效果如图 3.126 所示。



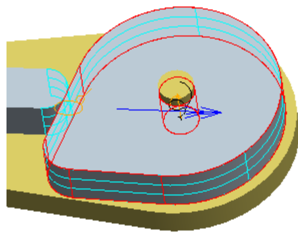
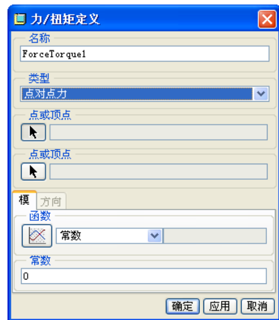


图 3.125　“主体扭矩”选项　　　　图 3.126　施加的主体扭矩

（3）在【类型】下拉列表框中选择“点对点力”选项，如图 3.127 所示，单击【点或顶点】选项组中【选取】箭头，在 3D 模型模型中选择一个点，在该点施加一个力，效果如图 3.128 所示。



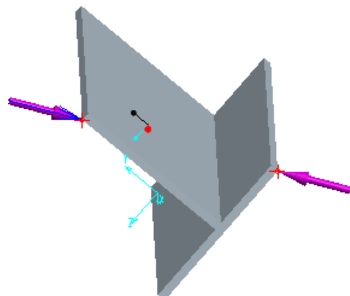


图 3.127　“点对点力”选项　　　　图 3.128　施加的点对点力

❑　【模】选项卡用于定义力/力矩的大小。在其下拉列表框中选择力/力矩大小的方

式。单击【绘制力/扭矩轮廓图】按钮，查看力/力矩曲线，如图 3.129 所示。

（1）在【模】下拉列表框中选择“常数”选项，所定义力/力矩为常数。

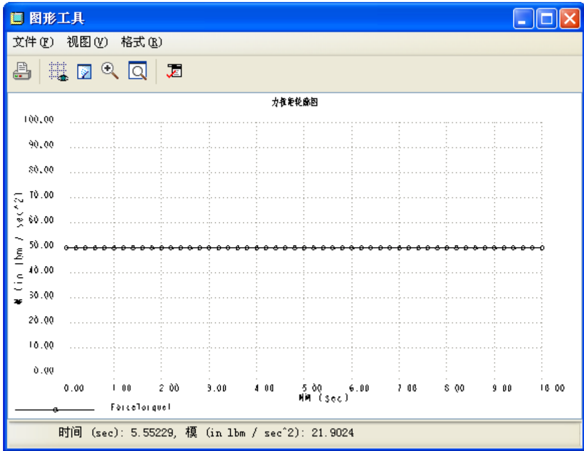


图 3.129 力/力矩曲线

（2）在【模】下拉列表框中选择“表”选项，表示以表格方式建立一系列的力/力矩值。该选项与 3.6 小节中“伺服电动机定义”对话框中【轮廓】选项卡中【模】选项组中的“表”选项使用方法相同。

（3）在【模】下拉列表框中选择“用户定义的”选项，表示以函数关系方式对力/力矩的大小进行定义。该选项与 3.6 小节中“伺服电动机定义”对话框中【轮廓】选项卡中【模】选项组中的“用户定义的”选项使用方法相同。

（4）在【模】下拉列表框中选择“定义载荷”选项，表示设定力/力矩的具体值。

❑ 【方向】选项卡，如图 3.130 所示，用于定义力/力矩的作用方向。

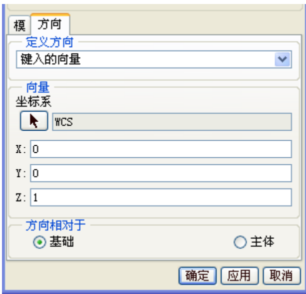


图 3.130 【方向】选项卡

（1）【定义方向】选项组选择定义方向的方式：键入的向量、点到点以及直边、曲线和轴 3 个选项。

（2）【向量】选项组用于定义坐标系确定力/力矩的方向，单击【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选择 X、Y、Z 方向，或者在【X、Y、Z】文本框中键入方向向量。

（3）【直边、曲线和轴】选项组用于定义力/力矩的方向，单击【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选择力/力矩的方向，单击【反向】按钮改变力/力矩的方向。

(4)【点至点】选项组用于通过两点定义力/力矩的方向，单击【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选择决定力/力矩的方向的点，单击【反向】按钮改变力/力矩的方向。

❑ 【方向相对于】选项组用于定义力/力矩的方向是与机构中基础相关，还是与主体相关。

3.7.6　定义初始条件

【初始条件】工具，是定义机构动力学分析的初始条件，包括位置初始条件和转速初始条件。单击该工具按钮，系统弹出“初始条件定义”对话框，如图 3.131 所示，该对话框的内容如下所述：

❑ 【名称】文本框用于显示当前定义的初始条件，系统默认为 InitCond1，也可以自定义。

❑ 【快照】下拉列表框用于通过选择主体的定位方式来确定装配模型中所有体的位置初始条件。

❑ 【转速条件】选项组用于根据相应命令按钮，建立相应的转速初始条件。命令按钮如下：

(1) 【定义点的转速】工具按钮，用于定义机构模型中某点的线转速。单击该按钮，对话框更新为如图 3.132 所示，选择一个点作为参考图元，并使用【模】和【方向】选项组定义该点的转速大小和方向。

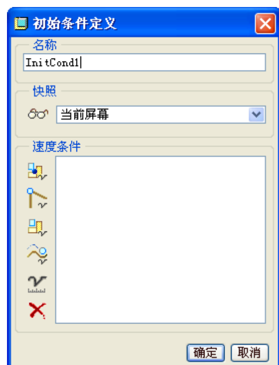


图 3.131　“初始条件定义”对话框



图 3.132　“点转速”对话框

(2)【定义运动轴转速】工具按钮，用于定义机构模型中连接轴的转速。单击该工具按钮，在 3D 模型中选择连接轴，在【模】文本框中键入连接轴转速。

(3)【定义角转速】工具按钮，用于定义主体的角转速。单击该按钮，选择一个主体作为参考图元，并使用【模】和【方向】选项组定义该点的转速大小和方向。

(4)【定义切相槽转速】工具按钮，用于定义动点相对于槽曲线的初始转速。

（5）【用转速条件评估模型】工具按钮，使用转速约束条件估算模型。单击该工具按钮，系统弹出如图 3.133 所示对话框，表示转速分析成功；系统弹出如图 3.134 所示对话框，表示转速分析失败。

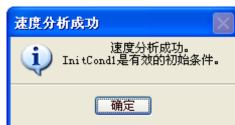


图 3.133 “转速分析成功”对话框



图 3.134 “转速分析失败”对话框

（6）【删除加亮的条件】工具按钮，用于删除【转速条件】列表框中选中的高亮显示的转速条件。

3.8 定义质量属性

在机构动力学中，要执行动力和静力分析，必须在机构中对模型分配质量属性。质量属性用于确定在力的作用下引起模型位置或转速变化时，机构的承受能力。机构的质量属性包括密度、体积、质量、重心和转动惯量。

选择菜单栏中的【编辑（E）】→【质量属性（A）】命令，或单击“动态”工具栏上的【质量属性】工具按钮，系统弹出“质量属性”对话框，如图 3.135 所示，使用该对话框可对零件模型、装配模型或主体进行质量属性的添加或检查。对于零件模型，可以定义该模型的质量、重心和转动惯量，如果该模型具有非零的体积，那么就可以定义其密度。对于装配模型，只能定义密度。对于主体，仅能检查体的质量属性，不能对其进行编辑。

（1）【参照类型】下拉列表框用于选择定义质量属性的类型对象。

- 在【参照类型】下拉列表框中选择“零件”选项，可以选择装配模型中任一零件模型，定义其质量、重心以及惯性，其他项不可选。
- 在【参照类型】下拉列表框中选择“组件”选项，可选择子装配模型或顶级装配模型，只能对其进行计算质量块的密度。
- 在【参照类型】下拉列表框中选择“主体”选项，选择装配模型中的主体，则只能查看其质量属性，不能对其进行编辑。

（2）【定义属性】下拉列表框用于选择定义质量属性的方法，在其下拉列表框中有 3 中选项：

- 在【定义属性】下拉列表框选择【缺省】选项，系统默认选项，选择该选项，所有可以输入数值的区域均呈现灰色不可以状态。
- 在【定义属性】下拉列表框选择【密度】选项，用于定义模型密度，定义模型的质量属性，该选项仅适用于对零件模型或装配模型定义质量属性。

❑ 在【定义属性】下拉列表框选择【质量属性】选项，直接定义质量属性，该方法仅适用于零件模型。可定义模型的质量、重心位置和转动惯量。

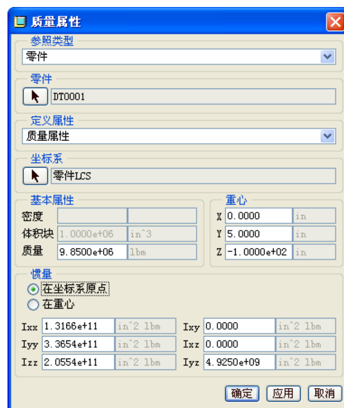


图 3.135　“质量属性”对话框

（3）【坐标系】选项组用于定义零件模型质量属性的参考。单击【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选择某个零件模型的坐标系作为定义零件质量属性的参考。

（4）【基本属性】选项组用于设定零件模型的密度、体积和质量。

（5）【重心】选项组是通过输入 X、Y、Z 坐标值，以定义零件的重心位置。

（6）【惯量】选项组用于设定零件模型的转动惯量，可以设定两种类型的转动惯量。

❑ 点选【在坐标系原点】单选按钮，查看关于坐标原点的转动惯量。

❑ 点选【在重心】单选按钮，查看关于重心的转动惯量。

3.9　术语表

主体（Body）：　一个元件或彼此无相对运动的一组元件，主体内 DOF=0。

连接（Connections）：定义并约束相对运动的主体之间的关系。

自由度（Degrees of Freedom）：允许的机械系统运动。连接的作用是约束主体之间的相对运动，减少系统可能的总自由度。

拖动（Dragging）：在屏幕上用鼠标拾取并移动机构。

动态（Dynamics）：研究机构在受力后的运动。

执行电动机（Force Motor）：作用于旋转轴或平移轴上(引起运动)的力。

齿轮副连接（Gear Pair Connection）：应用到两连接轴的转速约束。

基础（Ground）：不移动的主体。其他主体相对于基础运动。

机构（Joints）：特定的连接类型（例如销钉机构、滑块机构和球机构）。

运动（Kinematics）：研究机构的运动，而不考虑移动机构所需的力。

环连接（Loop Connection）：添加到运动环中的最后一个连接。

运动（Motion）：主体受电动机或负荷作用时的移动方式。

放置约束（Placement Constraint）：组件中放置元件并限制该元件在组件中运动的图元。

回放（Playback）：记录并重放分析运行的结果。

伺服电动机（Servo Motor）：定义一个主体相对于另一个主体运动的方式。可在机构或几何图元上放置电动机，并可指定主体间的位置、转速或加转速运动。

LCS：与主体相关的局部坐标系。LCS 是与主体中定义的第一个零件相关的缺省坐标系。

UCS ：用户坐标系。

WCS ：全局坐标系。组件的全局坐标系，它包括用于组件及该组件内所有主体的全局坐标系。

运动分析的定义：在满足伺服电动机轮廓和机构连接、凸轮从动机构、槽从动机构或齿轮副连接的要求的情况下，模拟机构的运动。运动分析不考虑受力，它模拟除质量和力之外的运动的所有方面。因此，运动分析不能使用执行电动机，也不必为机构指定质量属性。运动分析忽略模型中的所有动态图元，如弹簧、阻尼器、重力、力/力矩以及执行电动机等，所有动态图元都不影响运动分析结果。如果伺服电动机具有不连续轮廓，在运行运动分析前软件会尝试使其轮廓连续，如果不能使其轮廓连续，则此伺服电动机将不能用于分析。

第 4 章　机构动力学分析



内容导航

对机构添加相应的要素，如伺服电动机、力/力矩、质量属性等后，就可以对机构进行相应的分析。对于同一机构模型，通过施加不同的要素，以及对机构中的主体进行锁定或临时改变约束条件登，可以对机构的多种工作状况进行分析研究。本章主要讲述机构的位置、运动学、动态、静态以及力平衡等分析。

4.1　机构分析

在对设计的机构添加相应要素如伺服电动机、力/力矩、质量属性等后。选择【分析（A)】→【机构分析（Y)】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，如图 4.1 所示，该对话框的详细功能将在后续介绍，下面简单介绍各选项卡的作用。

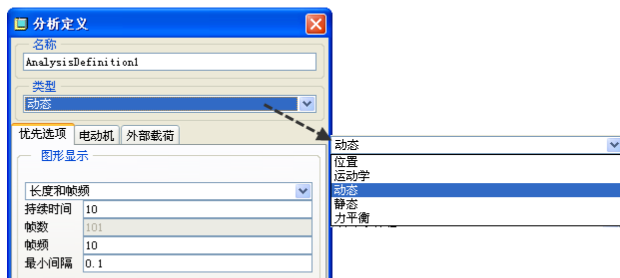


图 4.1　“分析定义”对话框

（1）在【名称】文本框可以自定义分析名称，也可以接受系统默认名称。

（2）在【类型】下拉列表框中选择分析类型：位置、运动学、动态、静态、力平衡等，如图 4.1 所示。

- 位置分析：通过伺服电动机带动机构运动，对主体的运动位置进行分析。
- 运动学分析：通过伺服电动机带动机构运动，对其进行运动分析。
- 动态（即动力学分析）：对机构中具有质量属性的主体，施加转动惯量、外力，对其进行运动分析研究。

- 静态（即静力学分析）：研究稳定状态，力对主体的作用。
- 力平衡分析：研究分析使机构保持特定形态时的力。

（3）【优先选项】选项卡用于进行图形显示设置以及初始配置。

（4）【电动机】选项卡用于添加、删除电动机。

（5）【外部载荷】选项卡用于添加、删除外部载荷以及重力和摩擦力的启动设置。

4.1.1　位置分析

在“分析定义”对话框中【类型】下拉列表框中选择“位置”选项，“分析定义”对话框如图 4.2 所示，对于位置分析需要对【优先选项】和【电动机】两个选项卡进行设置，具体设置内容如下：

（1）【图形显示】选项组用于设置机构运动的显示。

- 【开始时间】文本框定义机构运动的开始时间。在其下拉列表框中选择机构运动设置选项：长度和帧频、长度和帧数、帧频和帧数。
- 【终止时间】文本框定义机构运动的终止时间，适用于长度和帧频、长度和帧数两个选项。
- 【帧数】文本框定义机构运动的帧数。适用于长度和帧数、帧频和帧数两选项。
- 【帧频】文本框定义机构运动的帧与帧之间的时间。适用于长度和帧频、帧频和帧数两选项。
- 【最小间隔】文本框定义帧之间显示的最小间隔时间。

（2）【锁定的图元】选项组用于锁定不必要的自由度。定义分析过程中那些主体是被锁定的，被锁定的主体名称显示在该列表框中。

- 【创建主体锁定】工具按钮，锁定一个主体。单击该按钮，在 3D 模型中选择一个主体，然后再选择一个或多个主体，使其相对第一个主体锁定。若主体相对于坐标系锁定，只需单击该按钮，单击鼠标中键，然后选择要相对于坐标系锁定的主体即可。
- 【创建连接锁定】工具按钮，锁定机构中的一个连接。
- 【删除锁定的图元】工具按钮，在锁定对象列表中，删除选定的锁定对象。
- 【启动/禁止连接】工具按钮，启动或锁定机构中的连接。单击该工具按钮，在 3D 模型中选择连接，在“选取”对话框中单击【确定】按钮，该连接就添加到列表框中。

（3）【初始配置】选项组明确分析开始时机构的初始形态或初始条件。

- 点选【当前】单选按钮，表示以当前屏幕显示的形态作为分析的初始条件。
- 点选【快照】单选按钮，表示选择一个快照作为分析的初始条件。

（4）【电动机】选项卡，如图 4.3 所示，该选项卡用来控制在分析过程中使用哪个电动机。



图 4.2　“分析定义”对话框

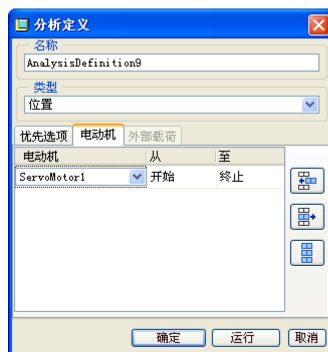


图 4.3　【电动机】选项卡

- 【添加新行】工具按钮，在电动机列表中添加一个已经定义的电动机。
- 【删除加亮的行】工具按钮，在电动机列表中删除选中加亮的电动机。
- 【添加所有电动机】工具按钮，将定义的所有电动机添加到电动机列表中，系统默认设置。

以下面以 3.2.1 小节中创建的凸轮连接为例，讲解位置分析功能的使用方法。

（1）打开组件 TULUN.asm。

（2）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（3）选择菜单栏中的【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

（4）在“分析定义”对话框中【类型】下拉列表框中选择“位置”选项，在【终止时间】文本框中键入 20，【帧频】文本框中键入 15。

（5）单击【运行】按钮，效果参见凸轮目录下的视频文件 tulun.mpg。

4.1.2　运动学分析

在不考虑力、质量、惯量的情况下，仅对机构进行运动分析时，可以使用运动学、位置的类型。由于仅考虑机构的运动，所以这两种类型不需要指定质量属性、弹簧、阻尼器、重力、力/力矩以及执行电动机等外部载荷。【外部载荷】选项卡为灰色不可以状态。

位置分析和运动学分析使用方法相同，分析结果有所不同，如表 4.1 所示。

以下面以 3.2.3 小节中创建的齿轮连接为例，讲解运动分析功能的使用方法。

（1）打开组件 cl.asm。

（2）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构

设计平台。

（3）选择菜单栏中的【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

（4）在“分析定义”对话框中【类型】下拉列表框中选择“运动”选项，在【终止时间】文本框中键入 20，【帧频】文本框中键入 15。

（5）单击【运行】按钮，效果参见凸轮目录下的视频文件 CL.mpg。

表 4.1　位置分析和运动学分析比较表

	运动学分析	位置分析
位置	√	√
速度、加速度	√	×
运动干涉	√	√
轨迹曲线	√	√
运动包络	√	√

4.1.3　动态分析

在考虑力、质量、惯量等外力作用的情况下，对机构进行分析可以使用“动态”选项。在“分析定义”对话框中【类型】下拉列表框中选择“动态”选项，对话框下方的【初始配置】选项组中的【快照】单选按钮变为【初始条件】单选按钮，可以直接选取已设置好的初始条件，而不是向运动学和位置采用快照作为初始状态，如图 4.4 所示。

 **注意**

动态分析类型中，不能为伺服电动机指定起止时间，而只能指定运行时间。

在动态分析时，还需要设置【外部载荷】选项组，如图 4.5 所示。

- 【添加新行】工具按钮，在外部载荷列表中添加一个已经定义的外部载荷。
- 【删除加亮的行】工具按钮，在外部载荷列表中删除选中加亮的外部载荷。
- 【添加所有外部载荷】工具按钮，将定义的所有外部载荷添加到列表中，系统默认设置。
- 点选【启动重力】单选按钮，重力在机构分析过程中起重力作用。
- 点选【启动所有摩擦】单选按钮，分析机构过程中，所有摩擦力不可忽略。

定义完成后，单击【运行】按钮，系统就会根据运动模型和运动环境对机构进行作用，并将结果用*.pbk 的文件放置在内存中，以便使用其输出分析结果。

下面以摆钟为例，讲解动态分析的过程：

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选

取工作目录”对话框，选择摆钟零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

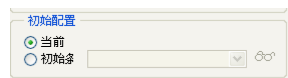


图 4.4　【初始配置】选项组

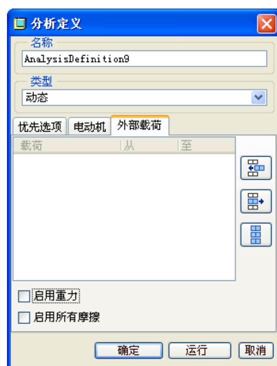


图 4.5　【外部载荷】选项卡

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 ZB，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（3）选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【创建（C）】命令，或者单击“工程特征”工具栏上的【创建】工具按钮，系统弹出“元件创建”对话框，如图 4.6 所示。

（4）点选【骨架模型】单选按钮，单击【确定】按钮，系统弹出“创建选项”对话框，如图 4.7 所示。

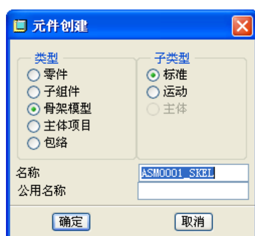


图 4.6　“元件创建”对话框

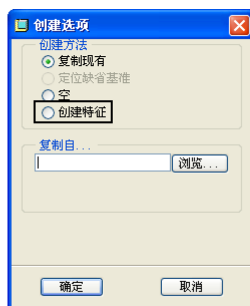


图 4.7　“创建选项”对话框

（5）点选【创建特征】单选按钮，单击【确定】按钮，完成摆钟骨架的设计。

（6）选择菜单栏中的【插入（I）】→【模型基准（D）】→【轴（X）】命令，或者单击“基准”工具栏上的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，如图 4.8 所示。

（7）在工作区选择基准平面 ASM_RIGHT，按 Ctrl 键在工作区选择基准平面 ASM_TOP，该基准平面添加到基准轴参考列表框中，如图 4.8 所示，单击【确定】按钮，完成基准轴的创建。

（8）选择【窗口（W）】→【激活（A）】命令，激活当前工作模块，进入装配工作台。

（9）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择元件 a.prt 加载到当前工作台中。

（10）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【集类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项；

（11）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 孔的轴线和基准轴 A_1，如图 4.9 所示。

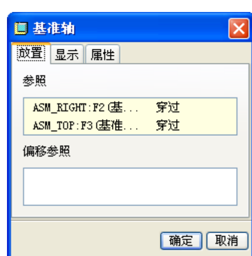


图 4.8　“基准轴”对话框

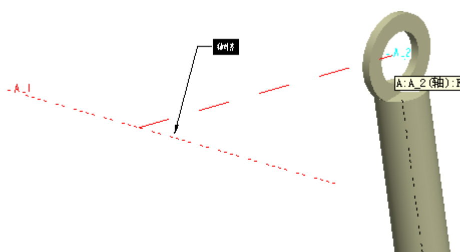


图 4.9　轴对齐

（12）选中“平移”连接选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 的 TOP 面和基准平面 ASM_FRONT。

（13）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成中摆钟杆销钉连接。

（14）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，系统弹出“打开”对话框，选择元件 b.prt 加载到当前工作台中。

（15）在 3D 模型中选择摆钟杆轴和元件 b.prt 上孔的中心，一个插入约束创建完成，如图 4.10 所示。

（16）在信息提示栏中，选中“相切”选项，然后在 3D 模型中选择摆钟杆台阶端面和摆钟盘外周圆面，相切约束创建完成，如图 4.11 所示。

（17）使用对齐约束命令，将摆钟杆上圆环端面与摆钟盘端面平行。

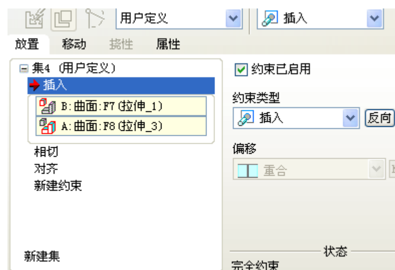


图 4.10　插入约束

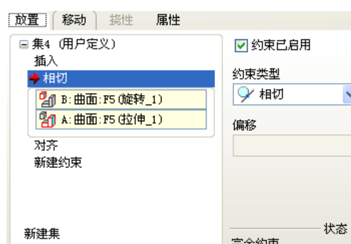


图 4.11　相切约束

（18）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（19）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【质量属性（A）】命令，或【动态】工具栏上的【质量属性】工具按钮，系统弹出“质量属性”对话框，在【参照类型】下拉列表框中选择“零件”选项。

（20）单击【零件】选项组中【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选择元件 b.prt。

（21）在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，在【密度】文本框中键入 7.85，如图 4.12 所示。

（22）在“质量属性”对话框中，单击【确定】按钮，完成零件 B 质量属性的设置；

（23）使用同样的方法，对组件进行质量属性的设置，“质量设置”对话框如图 4.13 所示。



图 4.12　“质量属性”对话框



图 4.13　“质量属性”对话框

（24）选择菜单栏中的【视图（V）】→【方向（O）】→【拖动元件（D）】命令，或单击“视图”工具栏上的【拖动元件】工具按钮，系统弹出“拖动定义”对话框，单击【快照】下拉箭头，展开【快照】选项卡。

（25）在对话框中单击【约束】选项卡，然后单击左侧【运动轴约束】按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择“机械模块”中设置的连接轴，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，该轴添加到列表中，如图 4.14 所示。

（26）选中列表框中的 Connection_3.axis_1 轴位置单选按钮，并使其高亮显示，在列表框下边【值】文本框中键入 5，按下 Enter 健，效果如图 4.15 所示。

（27）在“拖动”对话框中，单击【关闭】按钮，完成拖动的设置。

（28）选择【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

（29）在对话框中【类型】下拉列表框中选择“动态”选项，在【持续时间】文本框中键入 20，在【帧频】文本框中键入 15。

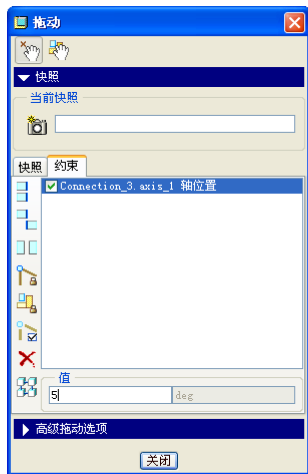


图 4.14 “拖动”对话框

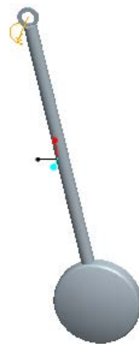


图 4.15 拖动后的摆钟

（30）单击对话框中的【外部载荷】选项卡，勾选【启动重力】复选框。

（31）单击【运行】按钮，效果见目录下的 ZB.avi 视频文件。

4.1.4 静态分析

静态分析主要用于研究机构主体平衡时的受力情况。由于静态分析中不考虑速度及惯性，所以能比动态更快地找到平衡状态，定义对话框中也因此无需对起止时间进行设置，”分析定义”对话框如图 4.16 所示。该对话框中大部分内容参见前面介绍，这里只讲解前面没有提及到的内容。

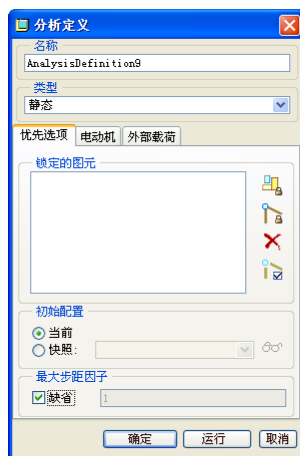


图 4.16 “分析定义”对话框

❑ 在【最大步距因子】选项组用于改变静态分析中的默认步长，它是大于 0 且小于 1 的常数，在分析具有较大加速度的机构时，推荐减少此值。

下面以四连杆机构为例，讲解静态分析过程。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择四连杆零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 LG4，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（3）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 a.PRT 将其加载到当前工作台中。

（4）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，然后在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（5）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（6）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 b.PRT 将其加载到当前工作台中。

（7）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【集类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项。

（8）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 的孔轴线和元件 b.prt 的孔轴线，如图 4.17 所示。

（9）选中“平移”选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 和元件 b.prt 的结合面。

（10）使用同样的方法，将元件 c.prt 与元件 b.prt 之间建立“销钉”连接，元件 d.prt 与元件 c.prt 之间建立“销钉”连接，元件 d.prt 与元件 a.prt 之间建立“销钉”连接，效果如图 4.18 所示。

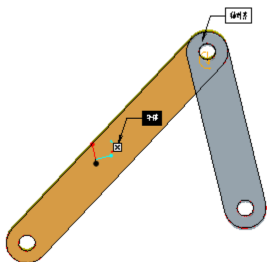


图 4.17　元件销钉连接

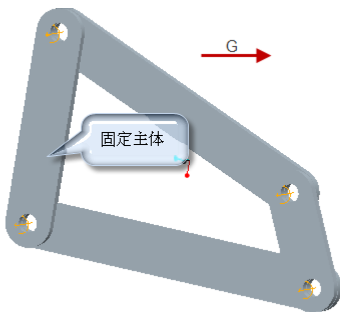


图 4.18　四连杆机构

（11）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（12）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【质量属性（A）】命令，或单击“动态”工

具栏上的【质量属性】工具按钮，系统弹出“质量属性”对话框，在【参照类型】下拉列表框中选择“组件”选项，如图 4.19 所示。

（13）单击【组件】选项组中【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择组件 LG4.asm，单击【确定】按钮。

（14）在“质量属性”对话框中【定义属性】下拉列表框中选择“密度”选项，在【零件密度】文本框中键入 7.85，单击【确定】按钮，完成质量属性的设置。

（15）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【重力（R）】命令，或单击“动态”工具栏上的【重力】工具按钮，系统弹出“重力”对话框，在【方向】选项组中【X】文本框中键入 1，【Z】文本框中键入-1，单击【确定】按钮，完成机构重力方向的设置，如图 4.20 所示紫色箭头。



图 4.19　“质量属性”对话框

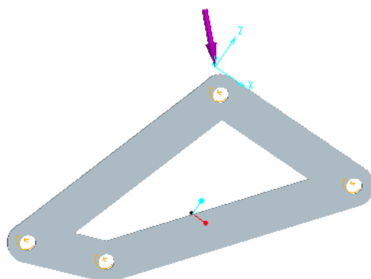


图 4.20　重力方向

（16）选择【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

（17）在“分析定义”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“静态”选项。

（18）单击【外部载荷】选项卡，勾选【启动重力】复选框，单击【运行】按钮，效果见目录下的 LG4.avi，同时系统弹出静态分析进程曲线，如图 4.21 所示。

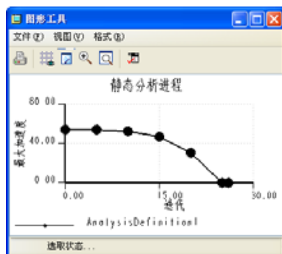


图 4.21　静态分析进程曲线

4.1.5　力平滑分析

力平衡分析用于分析机构处于某一形态时，为保证其静平衡所需施加的外力。在“分析定义”对话框中【类型】下拉列表框中选择“力平衡”选项，如图 4.22 所示。

❑　单击【创建测力计锁定】按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择点作为对象，随后系统弹出“测力计向量定义”对话框，如图 4.23 所示，通过对话框中 X、Y、Z3 个分量方式指出力的方向。



图 4.22　“力平衡”选项

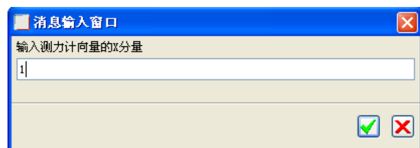


图 4.23　测力计向量

❑　【自由度】选项组用于对机构自由度进行自由度检测，单击【评估】按钮，根据分析评估，在【DOF】文本框中显示当前模型的自由度数。

对机构设置完后，运行分析后，系统就能按照所需的方向计算出为保持平衡状态的力的大小。

下面以吊钩为例，讲解力平衡分析的过程。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择摆钟零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 DG，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（3）选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【创建（C）】命令，或者单击“工程特征”工具栏上的【创建】工具按钮，系统弹出“元件创建”对话框。

（4）在“元件创建”对话框中，点选【骨架模型】单选按钮，单击【确定】按钮，系统弹出“创建选项”对话框。

（5）在“创建选项”对话框中，点选【创建特征】单选按钮，单击【确定】按钮，完成带传动骨架的设计。

（6）选择菜单栏中的【插入（I）】→【模型基准（D）】→【轴（X）】命令，或者单击“基准”工具栏上的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框。

（7）在工作区选择基准平面 ASM_RIGHT，按<Ctrl>键在工作区选择基准平面 ASM_TOP，该基准平面添加到基准轴参考列表框中，单击【确定】按钮，完成基准轴的创建。

（8）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”

对话框中，选择 DG.PRT 将其加载到当前工作台中。

（9）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【集类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项。

（10）在“放置”对话框中，选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 DG.prt 的孔轴线和 A_1 轴线。

（11）在“放置”对话框中，选中“平移”选项，在 3D 模型中选择元件 DG.prt 的端面和 ASM_FRONT 面。

（12）在【状态】文本框显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成大带轮销钉连接。

（13）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（14）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【质量属性（A）】命令，或单击“动态”工具栏上的【质量属性】工具按钮，系统弹出“质量属性”对话框，在【参照类型】下拉列表框中选择“零件”选项。

（15）单击【零件】选项组中【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择组件 DG.prt，单击【确定】按钮。

（16）在【基本属性】选项组中【密度】文本框中键入 7.85，单击【确定】按钮，完成质量属性的设置。

（17）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【重力（R）】命令，或单击“动态”工具栏上的【重力】工具按钮，系统弹出“重力”对话框，在【方向】选项组中【X】文本框中键入 1，【Z】文本框中键入-1，单击【确定】按钮，完成机构重力方向的设置。

（18）选择【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

（19）在“分析定义”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“力平衡”，单击【创建测力计锁定】按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择点作为对象，随后系统弹出“测力计向量定义”对话框，通过对话框中 X、Y、Z3 个分量方式指出力的方向，效果如图 4.24 所示。

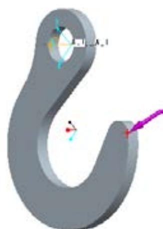


图 4.24　测力计方向

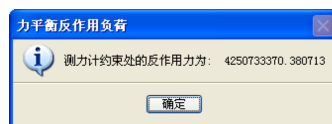


图 4.25　“力平衡反作用负荷”对话框

（20）单击【外部载荷】选项卡，勾选【启动重力】复选框，单击【运行】按钮，系统弹出“力平衡反作用负荷”对话框，如图 4.25 所示，对话框中显示测力计约束处的反作用力大小。

4.2　分析结果

分析结果是机构分析的主要目的。通过使用“机械设计”模块和“机构”模块中创建机构模型，使用机构分析工具对创建的模型进行分析，将分析结果保存在模型中。使用本节中的回放、测量、轨迹曲线等工具对分析结果表达出来，有利于对机构进行直观分析，对设计结果进行优化。

4.2.1　回放

【回放】工具◀▶，是对机构进行运动干涉检测、创建运动包络和动态影像捕捉等的工具。选择菜单栏中的【分析（A）】→【回放（B）】命令，或者单击“运动”工具栏上的【回放】工具按钮，系统弹出“回放”对话框，如图 4.26 所示，该对话框的内容如下：

（1）【播放当前结果集】工具按钮◀▶，用于对当前选中的分析结果集进行播放，单击该按钮，系统弹出“动画播放控制”对话框，如图 4.27 所示，该对话框中按钮用于控制动画播放。

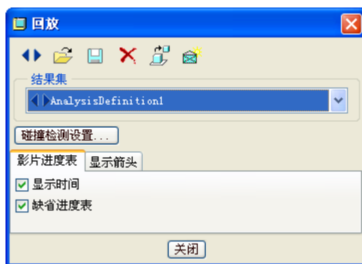


图 4.26　“回放”对话框



图 4.27　“动画播放控制”对话框



注意

回放功能是对内存中的分析运行结果进行分析，每次运行回放功能，必须先进行分析运行或者从磁盘中恢复结果集。

❑　【帧】选项组中滑块用于控制机构运动的位置，鼠标拖动滑块左右移动，机构随着滑块的移动而运动。

❑　【向后播放】按钮◀，用于控制动画向后连续播放。

- ❑ 【停止】按钮■，停止当前的动画播放。
- ❑ 【向前播放】按钮▶，用于控制动画向前连续播放。
- ❑ 【重置动画到开始】按钮◀◀，用于重新播放动画。
- ❑ 【显示前一帧】按钮，用于显示前一帧。
- ❑ 【显示下一帧】按钮，用于显示下一帧。
- ❑ 【向前播放动画到结束】按钮▶▶，用于快进到结束。
- ❑ 【重复播放】按钮，用于循环播放。
- ❑ 【在结束时反转方向】按钮，用于在播放结尾反转继续播放。
- ❑ 【速度】滑块用于控制动画播放速度。
- ❑ 【捕获】按钮，将当前动画捕获成图片或动态影像。单击该按钮，系统弹出“捕获”对话框，如图 4.28 所示，可以在对话框中完成捕获后文件名称的定义以及保存路径的设置；也可以设置捕捉类型：MPEG、JPEG、TIFF、BMP；还可以进行图像大小和质量设置。

（2）【从磁盘恢复结果集】按钮，用于加载机构回放文件。

（3）【将当前结果保存到磁盘】按钮，将当前机构运行分析结果保存到磁盘中。

（4）【从会话中移除当前结果集】按钮✕，就是从内存中将分析结果移除掉。

（5）【将结果导出*.FRA 文件】按钮，是将当前内存中的分析运行结果保存到磁盘中，文件为*.FRA。

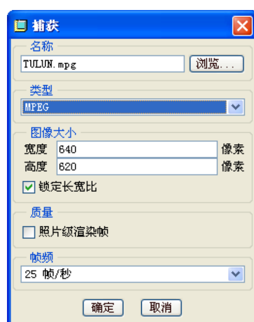


图 4.28 “捕获”对话框

（6）【创建运动包络】按钮，是将分析运行结果生成包络体，可以生成零件、STL、轻重量零件、VRML 等格式的文件。单击该工具按钮，系统弹出“创建运动包络”对话框，如图 4.29 所示。

- ❑ 【质量】选项组用于设置包络体质量高低，数值越高生成的包络体质量越高，要求计算机内存更大，调整微调按钮，系统弹出“运动包络块报警提示”对话框，如图 4.30 所示。
- ❑ 【选取元件】选项组用于对生成包络体的机构中元件的选取，默认为全部机构中的元件。
- ❑ 【特殊处理】选项组用于设置生成包络体是否忽略骨架和面组。



图 4.29　“创建运动包络”对话框

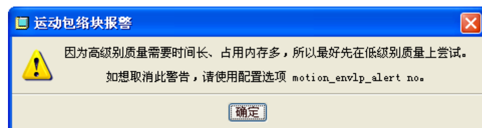


图 4.30　“运动包络块报警”对话框

❑　【颠倒三角对】按钮用于在包络体表面生成三角形，如图 4.31 所示为凸轮包络体。

❑　【输出格式】选项组用于设置包络体输出的格式：零件、STL、轻重量零件、VBML 四种，单击【创建】按钮，包络体就生成了。

（7）【结果集】选项组用于选择内存中的运动分析结果。

（8）【碰撞检测设置】按钮用于设置运动分析过程中碰撞检测设置，单击该按钮，系统弹出“碰撞检测设置”对话框，如图 4.32 所示，该对话框的内容如下：

❑　【一般设置】选项组用于设置是否进行碰撞检测、进行全局还是部分碰撞检测。点选【无碰撞检测】单选按钮，表示运动分析过程中不进行碰撞检测；选中【全局碰撞检查】按钮，表示运动分析过程中进行全部碰撞检查；选中【部分碰撞检查】按钮，表示运动分析过程中进行部分碰撞检查，按<Ctrl>键，在 3D 模型中选取需要进行碰撞检查的元件；勾选【包括面组】复选框，表示运动分析过程中碰撞检查包括面组。

❑　【可选设置】选项组用于设置发生碰撞是进行的操作，勾选【发生冲突时会响起消息铃声】复选框，表示发生冲突时会发出消息铃声；勾选【碰撞时停止动画回放】复选框，表示发生碰撞时停止动画回放。

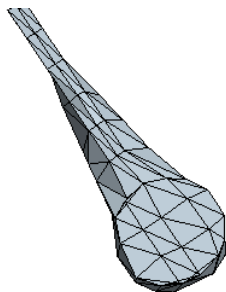


图 4.31　添加颠倒三角对的包络体

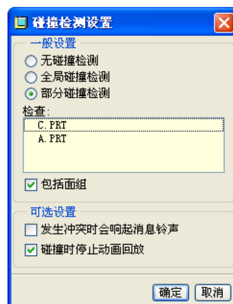


图 4.32　“碰撞检测设置”对话框

（9）【影片进度表】选项卡用于设置影片播放是否显示时间以及设置进步表。

（10）【显示箭头】选项卡设置回放过程中显示测量、载荷等箭头。单击该选项卡，“回放”对话框更新为如图 4.33 所示。

❑ 【测量】选项组用于设置在回放中显示的测量箭头，选中列表框中选项前的复选框，该测量项将在回放过程中显示。

❑ 【输入载荷】选项组用于设置在回放中显示载荷箭头，选中列表框中选项前的复选框，该载荷将在回放过程中显示。

❑ 【比例】选项组设置力、力矩、速度、加速度等运动参数在回放中箭头显示大小比例，在列表框中选择选项，在其后的文本框中键入显示比例或调节其后的调节轮盘调节。

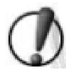
❑ 【注释】选项组设置是否在回放过程中显示名称和数值。



图 4.33 “回放”对话框

4.2.2 测量

【测量】工具，是测量机构运动过程中精确的参数。选择菜单栏中的【分析（A）】→【测量（E)】命令，或单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框，如图 4.34 所示，该对话框的内容如下：



注意

测量功能是对内存中的分析运行结果进行测量分析，每次设置测量功能，必须先进行运行分析或者从磁盘中恢复结果集。

（1）【绘制选定结果集所选测量的图像】按钮，是将选定的结果集中的所选测量的结果以图形表达出来。在【结果集】列表框中选择运动分析结果，在【测量】列表框中选择测量（可以多选），单击该按钮，系统弹出“图形工具”对话框，如图 4.35 所示，该对话框的内容如下所述：

❑ 【文件（F）】下拉菜单集导出 Excel（E）、导出文本（T）、打印一体的下拉菜单。选择菜单栏中的【文件（F）】→【导出 Excel（E）】命令，在弹出的“保存”对

话框中选择保存的路径和文件名称，保存后的 Excel 文件效果如图 4.36 所示；选择菜单栏中的【文件（F）】→【导出文本（T）】命令，在弹出的“保存”对话框中选择保存的路径和文件名称，保存后的文本文件效果如图 4.37 所示。

其他菜单和工具按钮的使用方法参见 3.6 小节中相关内容。

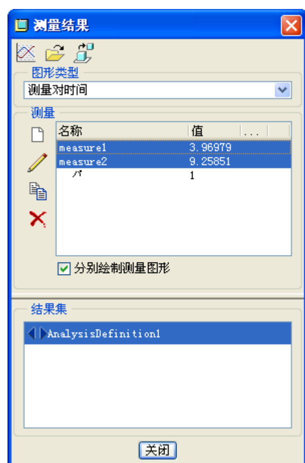


图 4.34　“测量结果”对话框

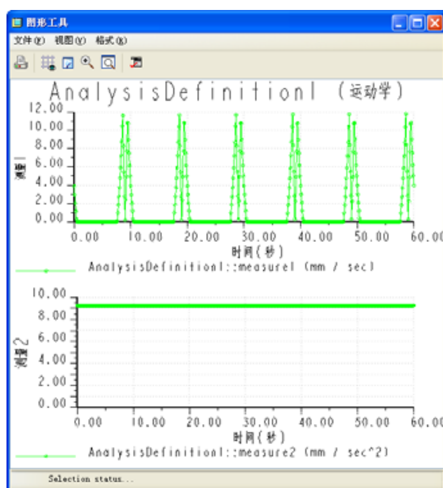


图 4.35　“图形工具”对话框

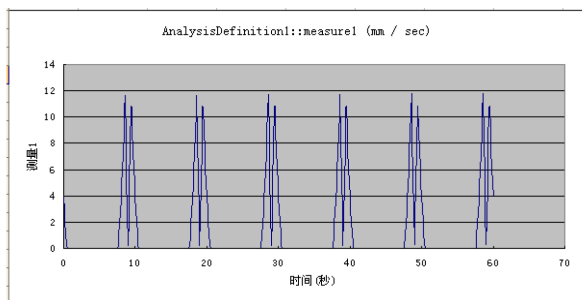
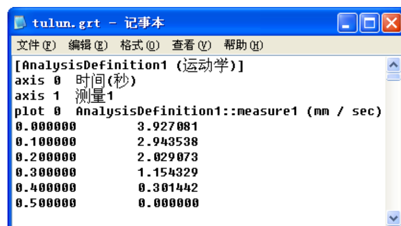


图 4.36　Excel 文件效果


tulun.grt - 记事本

文件(F)　编辑(E)　格式(O)　查看(V)　帮助(H)

```
[AnalysisDefinition1 (运动学)]
axis 0  时间(秒)
axis 1  测量1
plot 0  AnalysisDefinition1::measure1 (mm / sec)
0.000000        3.927081
0.100000        2.943538
0.200000        2.029073
0.300000        1.154329
0.400000        0.301442
0.500000        0.000000
```

图 4.37　文本文件效果

（2）【从文件加载结果集】按钮，用于加载机构回放文件*.bpk。

（3）【创建或更新选定测量的各 Proe/E 参数】按钮，是更新当前选择的测量参数。

（4）【图形类型】下拉列表框用于选择图形类型：测量对时间、测量对测量。

（5）【测量】选项组用于创建、修改测量项。列表框中显示创建的各测量项。

❑　【创建新测量】工具按钮，用于创建一个新的测量项。单击该按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 4.38 所示。【名称】文本框用于定义新创建测量项的名称；【类型】选项组用于定义新创建测量项所测量的内容类型：位置、速度、加速度等，如图 4.39 所示；【点或运动轴】选项组用于定义新创建测量的目标，单击【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选择主体上的点或运动轴；【评估方法】选项组用于选择新创建测量项的评估方法：每个时间步长、最大值、最小值、整数等选项，如图 4.40 所示。



图 4.38 “测量定义”对话框

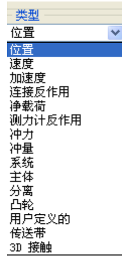


图 4.39 测量类型

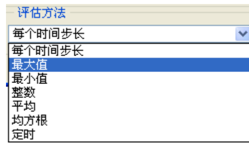


图 4.40 评估方法

❑ 【编辑选定的测量】工具按钮 ，是对选中列表框中的测量项进行编辑的工具按钮。选中所要编辑的测量项，单击该工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，使用该对话框就可以完成测量项的编辑修改。

❑ 【复制选定的测量】工具按钮 ，是对列表框中的测量项进行复制，生成新的测量项，然后是【编辑选定的测量】工具对其进行编辑。使用该工具可以很方便、准确对机构中的点进行测量分析，大大减少选取点使用时间和选点的误差。

❑ 【删除选定的测量】工具按钮 ，是对在列表框中选定的测量项删除的工具。

❑ 【分别绘制测量图形】复选框用于设置多个测量项在图形中是单独绘制还是绘制在一个坐标系中，如图 4.41 所示为选中该复选框与没有选中该复选框效果比较。

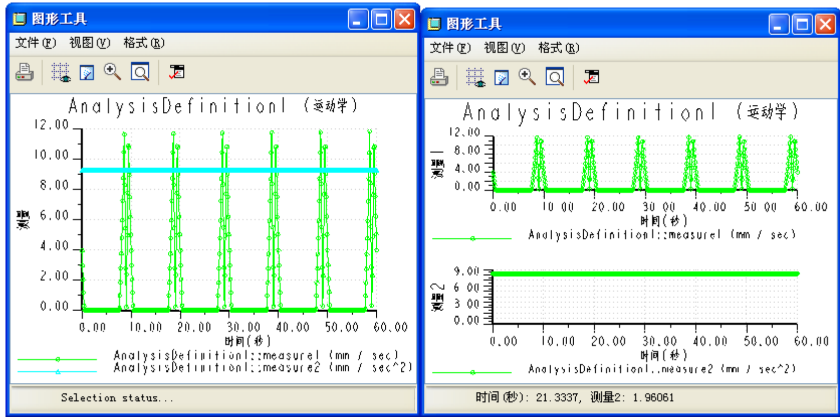


图 4.41 比较图

（6）【结果集】选项组用于显示内存中存在的运动分析结果。

下面以前面讲解的凸轮机构为例，讲解【测量】工具的使用步骤。

（1）打开目录下 TULUN.asm。

（2）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（3）在机构树中，右键单击分析树下的 AnalysisDefinition1，在弹出的下拉菜单中选择【运行】命令，如图 4.42 所示，凸轮机构就开始运行。

（4）等机构运行结束后，选择菜单栏中的【分析（A）】→【测量（E）】命令，或

单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框。

（5）单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，在【类型】下拉列表框中选择“速度”选项。

（6）单击【点或运动轴】选项组中的【选取】箭头按钮，其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成测量 1 的创建。

（7）在【测量】列表框中选中“measure1”选项，使其高亮显示，单击【复制选定的测量】工具按钮，一个新的测量项创建完成。

（8）选中复制的测量项，单击【编辑选定的测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，在【类型】下拉列表框中选择“位置”选项，其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成测量 2 的修改。

（9）在【结果集】列表框中选中“AnalysisDefinition1”运动分析结果。

（10）按 Ctrl 键，在【测量】列表框中选中 measure1 和 copy_of_measure1 测量项。

（11）单击【绘制选定结果集所选测量的图像】按钮，系统弹出“图形工具”对话框，如图 4.43 所示。

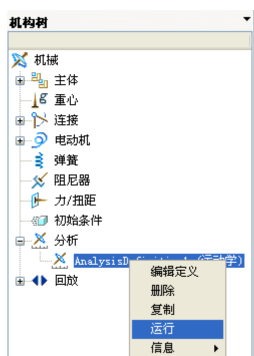


图 4.42　机构分析运行

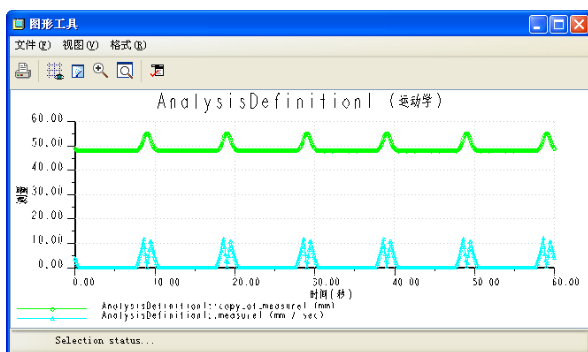


图 4.43　图形工具

（12）选择菜单栏中的【文件（F）】→【导出 Excel（E）】命令，选择当前目录，在【文件名称】文本框中键入 tulun，单击【保存】按钮。

（13）打开 tulun.xls 文件，效果如图 4.44 所示。

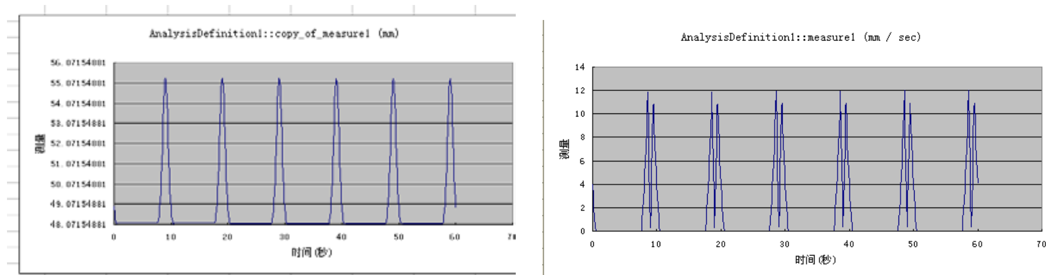


图 4.44　输出的为位置和速度曲线图

4.2.3 轨迹曲线

【轨迹曲线】工具按钮，是运动机构中主体上的点相对于零件生成的运动曲线。选择菜单栏中的【插入（I）】→【轨迹曲线（T）】命令，系统弹出“轨迹曲线”对话框，如图 4.45 所示。



图 4.45 “轨迹曲线”对话框

 **注意**

轨迹曲线创建功能是对内存中的分析运行结果进行分析，每次创建轨迹曲线前，必须先进行分析运行或者从磁盘中恢复结果集。

- 【纸零件】选项组用于定义轨迹曲线的参照。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取轨迹的参照元件。
- 【轨迹】下拉列表框用于选择所要创建的轨迹曲线类型：轨迹曲线、凸轮合成曲线。
- 【点、顶点或曲线端点】选项组用于选取所创建轨迹曲线的对象。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取所创建轨迹对象。
- 【曲线类型】选项组用于设置传教的轨迹曲线是 2D 曲线还是 3D 曲线。
- 【结果集】选项组用于选择所创建轨迹曲线由哪个运动分析结果产生。该列表框中显示所有内存中存在的运动分析结果。单击【从文件加载结果集】按钮，可以保存在磁盘中的加载机构回放文件*.bpk。

下面以如图 4.46 所示的齿轮机构为例，讲解【轨迹曲线】命令的使用步骤。

（1）打开目录下 CL.asm。

（2）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（3）在机构树中，右键单击分析树下的 AnalysisDefinition1，在弹出的下拉菜单中选择【运行】命令，如图 4.47 所示，齿轮机构就开始运行。

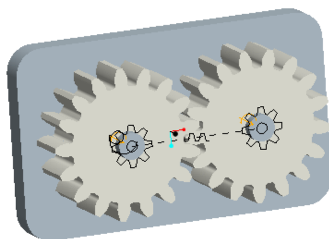


图 4.46　齿轮机构

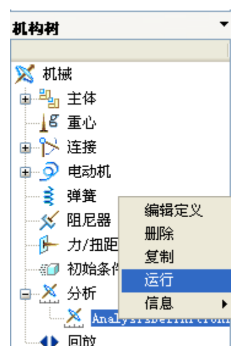


图 4.47　机构树

（4）等机构运行结束后，选择菜单栏中的【插入（I）】→【轨迹曲线（T）】命令，系统弹出“轨迹曲线”对话框。

（5）单击【纸零件】选项组中【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取轨迹的参照元件 A.prt。

（6）单击【点、顶点或曲线端点】选项组中的【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取元件 B.prt 的一个齿轮端点，如图 4.48 所示。

（7）在【结果集】列表框中选中“AnalysisDefinition1”选项，使其高亮显示，单击【确定】按钮，点的轨迹创建完成，效果如图 4.49 所示。

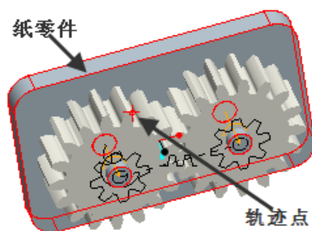


图 4.48　选择的轨迹点和纸零件

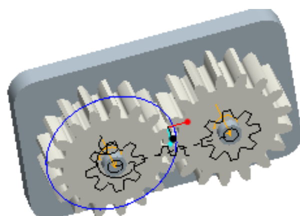


图 4.49　创建的轨迹

（8）选择菜单栏中的【插入（I）】→【轨迹曲线（T）】命令，系统弹出“轨迹曲线”对话框。

（9）单击【纸零件】选项组中【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取轨迹的参照元件 B.prt，如图 4.50 所示。

（10）单击【点、顶点或曲线端点】选项组中的【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取元件 B.prt 的一个齿轮端点，如图 4.50 所示。

（11）在【结果集】列表框中选中“AnalysisDefinition1”选项，使其高亮显示，单击【确定】按钮，点的轨迹创建完成，效果如图 4.51 所示。

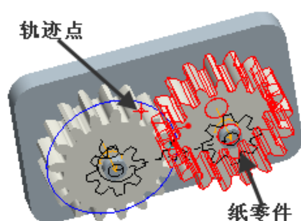


图 4.50　选择的轨迹点和纸零件

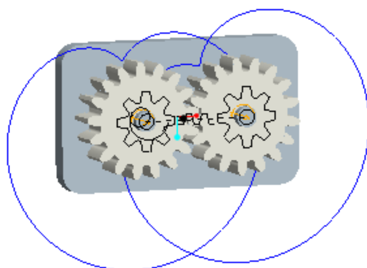


图 4.51　创建的轨迹

4.3　常规机构仿真

机构是常见的机械产品，如自行车、汽车、压面机、转椅等。这些机构按照原理可以分为几类：连杆机构、齿轮机构、带传递机构等。本章中将详细介绍常见机构的仿真。

4.3.1　连杆机构

连杆机构是利用一个转动的曲柄带动其他的连杆旋转、摆动或往复运动。即连杆机构具有以下功能：

- ❑ 由连续运动转变成另一种连续运动，其转速可能为定值，或是随时间变化的速度。
- ❑ 由连续运动转变为摆动或往复运动（或相反方向），其速度可能为定值或可变值。
- ❑ 由一种摆动方式转为另一种摆动方式，由一种往复运动转变成另一种往复运动，其速度可为定值或可变值。

连杆机构中最常见的就是四连杆机构，也是最简单的连杆结构。许多有用的机构均由四连杆机构改变而成，其中包括运动副的特征、连杆长度的比例等。较复杂的连杆机构则由两个或两个以上的这种机构组合而成。大部分的四连杆机构可以分为曲柄滑块机构和平行四边形机构两大类。

下面以如图 4.52 所示的四连杆机构为例，讲解连杆机构运动分析过程。

1．组装四连杆机构

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择四连杆零部件所在的文件夹，单击【确定】按钮。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在对话框中点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 0000，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，选中“mmns_asm_design”模板选项，单击【确定】按钮装配工作平台。

（3）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 a.PRT 将其加载到当前工作台中。

（4）在连接下拉列表框中选择“用户自定义”选项，在其后的约束下拉列表框中选择“固定”选项，或者单击【放置】工具按钮，在弹出的“放置”对话框中【约束类型】下拉列表框中选择“固定”选项。

（5）单击【完成】按钮，完成主体的固定。

（6）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，在系统弹出的“打开”对话框中，选择 b.PRT 将其加载到当前工作台中。

（7）选中【将约束转换为机构连接】按钮，在其后的下拉列表框中选择“销钉”选项，或单击【放置】工具按钮，系统弹出的“放置”对话框，在【集类型】下拉列表框中选择“销钉”选项，在销钉连接下自动添加“轴对齐”、“平移”、“旋转轴”选项。

（8）选中“轴对齐”约束选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 的孔轴线和元件 b.prt 的孔轴线，如图 4.53 所示。

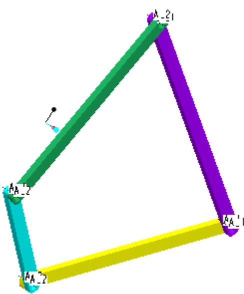


图 4.52　四连杆机构

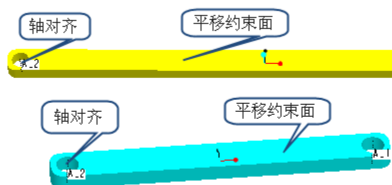


图 4.53　销钉约束元素

（9）选中“平移”选项，在 3D 模型中选择元件 a.prt 和元件 b.prt 的结合面。

（10）使用同样的方法，将元件 c.prt 与元件 b.prt 之间建立“销钉”连接，元件 d.prt 与元件 c.prt 之间建立“销钉”连接，元件 d.prt 与元件 a.prt 之间建立“圆柱”连接。

2．机构设置

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进入机构设计平台。

（2）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【质量属性（A）】命令，或单击“动态”工具栏上的【质量属性】工具按钮，系统弹出“质量属性”对话框，在【参照类型】下拉列表框中选择“组件”选项，如图 4.54 所示。

（3）单击【组件】选项组中【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择组件 0000.asm，单击【确定】按钮。

（4）在“质量属性”对话框中【定义属性】下拉列表框中选择“密度”选项，在【零件密度】文本框中键入 7.85，单击【确定】按钮，完成质量属性的设置。

（5）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【重力（R）】命令，或单击“动态”工具栏上的【重力】工具按钮，系统弹出“重力”对话框，在【方向】选项组中【X】文本框中键入 1，【Z】文本框中键入-1，单击【确定】按钮，完成机构重力方向的设置。

（6）单击【模型】工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【伺服电动机（V）】命令，系统弹出“伺服电动机定义”对话框，如图 4.55 所示。

（7）单击【类型】选项卡中【从动元件】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择运动轴，如图 4.56 所示。



图 4.54 “质量属性”对话框



图 4.55 “伺服电动机定义”对话框

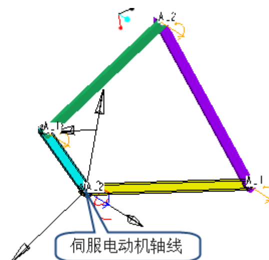


图 4.56 伺服电动机轴线

（8）在“伺服电动机定义”对话框中，单击【轮廓】按钮，选择【规范】下拉列表框中的“速度”选项，选择【模】下拉列表框中的“常数”选项，在【A】文本框中键入 360，单击【确定】按钮，完成伺服电动机的创建。

3．运动分析

（1）自由度分析

❑ 选择菜单栏中的【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，如图 4.57 所示。

❑ 在“分析定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“力平衡”选项，单击【自由度】选项组中【DOF】右侧的【评估】按钮，在【DOF】文本框中显示为 0，表示模型系统的自由度为 0。



注意

从理论上，一个自由度代表只要确定机构中任意一个活动机构的位置，就可以确定机构中所有其他机构的位置。从数学意义来讲，整个机构只需要一个变量就可以确定下来。从实际应用的观点来看，可以认为一个有一个自由度的机构，只需一个伺服电动机就能驱动它。

（2）静态分析

❑ 选择菜单栏中的【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

❑　在“分析定义”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“静态”选项。

❑　单击【外部载荷】选项卡，勾选【启动重力】复选框，单击【运行】按钮，四连杆机构从初始状态运行到平衡状态停止运行，效果如图 4.58 所示。

❑　同时，系统弹出四连杆加速度曲线图，效果如图 4.59 所示。



图 4.57　“分析定义”对话框

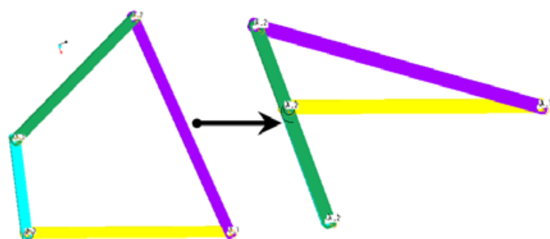


图 4.58　分析前后

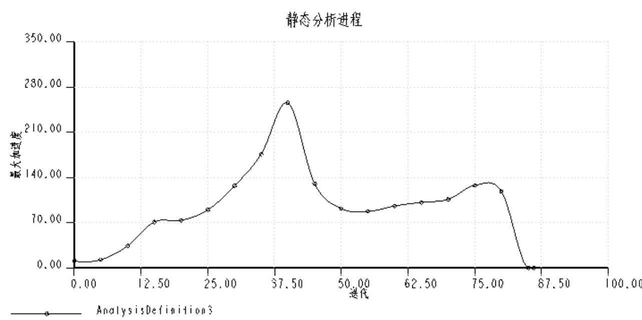


图 4.59　最大加速度曲线

❑　关闭“图形工具”对话框，返回“分析定义”对话框，单击【确定】按钮，完成四连杆机构的静态分析。

（3）动态分析（运动仿真）

❑　选择菜单栏中的【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框。

❑　在“分析定义”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“动态”选项，在【终止时间】文本框中键入 10。

❑　单击【外部载荷】选项卡，勾选【启动重力】复选框，单击【运行】按钮，模型就开始运动，效果参见目录下的 0000.avi。

（4）包络分析

❑　单击“运动”工具栏上的【回放】工具按钮◀▶，系统弹出“回放”对话框。

❑ 单击【创建运动包络】工具按钮，系统弹出“创建运动包络”对话框，单击【选取元件】选项组中【选取】按钮，在 3D 模型中选择连杆 C.prt，如图 4.60 所示，选中对话框中的【颠倒三角形】按钮，单击【预览】按钮，效果如图 4.61 所示。

❑ 单击【关闭】按钮，返回“回放”对话框，单击【关闭】按钮，完成包络分析。

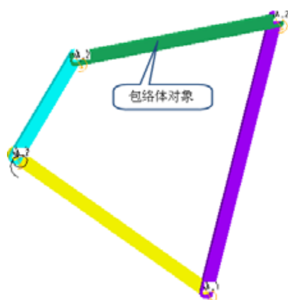


图 4.60　选择的包络体对象

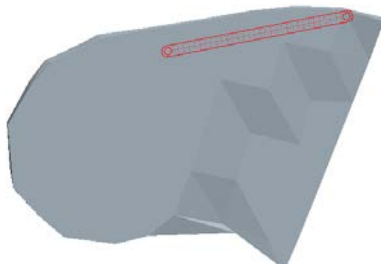


图 4.61　窗口的包络体

（5）分析测量结果

❑ 单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框，单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 4.62 所示。

❑ 在“测量定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“位置”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择旋转轴，如图 4.63 所示。



图 4.62　“测量定义”对话框

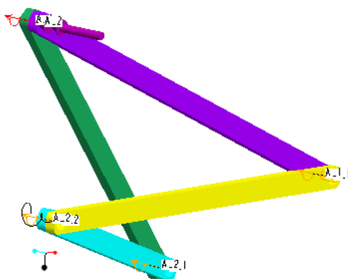


图 4.63　选择的测量轴

❑ 在“测量定义”对话框中，单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框，选中【测量】列表框中的“measure1”选项，选中【结果集】列表框中的“AnalysisDefinition1”选项，单击工具栏中的【绘制选定结果集所选测量的图形】按钮，系统弹出“图形工具”对话框，对话框中显示结果，如图 4.64 所示。

❑ 退出图形工具窗口，保存分析结果，完成模型的分析。

❑ 使用同样方法创建该旋转轴的速度曲线，如图 4.65 所示。

❑ 使用同样方法创建该旋转轴的加速度曲线，如图 4.66 所示。

❑ 使用同样方法创建该旋转轴的连接轴反作用力曲线，如图 4.67 所示。

❑ 关闭图形工具窗口，返回测量结果窗口，单击【关闭】按钮，完成四连杆机构的运动分析。

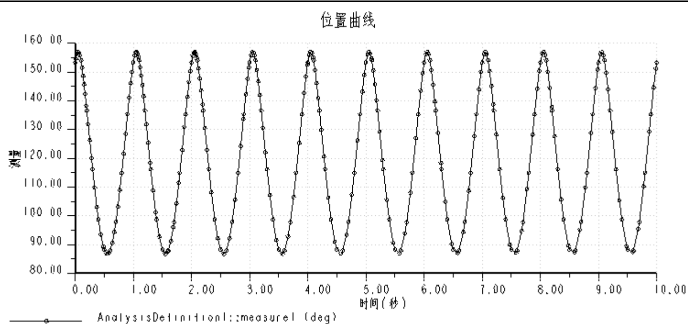


图 4.64　旋转轴位置曲线

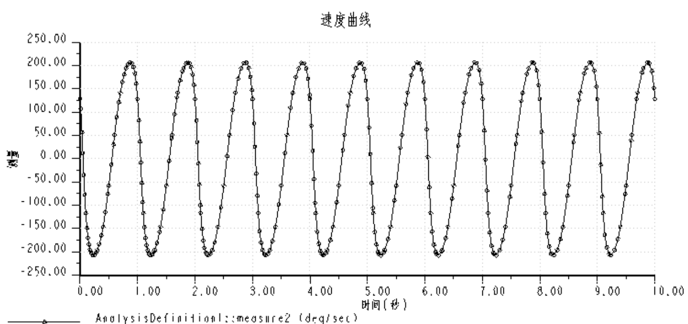


图 4.65　旋转轴的速度曲线

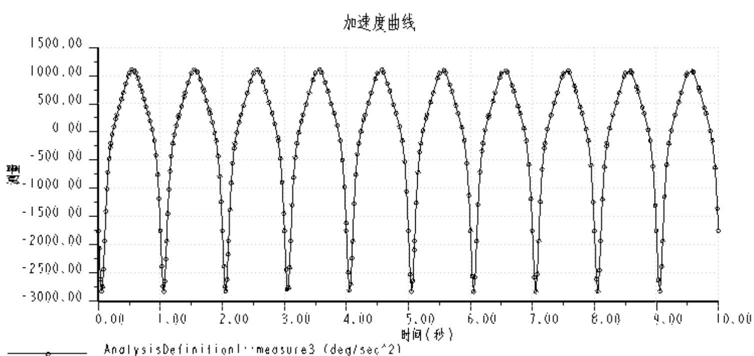


图 4.66　旋转轴加速度曲线

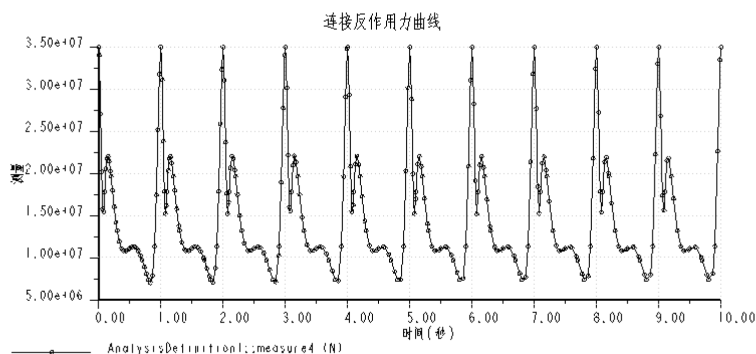


图 4.67　旋转轴连接反作用力曲线

4.3.2　凸轮机构

凸轮是一种相当重要的连杆件。因为其应用简单，又容易达到所需的运动目的，所以在诸多机械加工、印刷机、内燃机等自动化机械或玩具设计中，凸轮机构被广泛应用。

下面以如图 4.68 所示凸轮机构为了，讲解凸轮机构仿真的步骤。

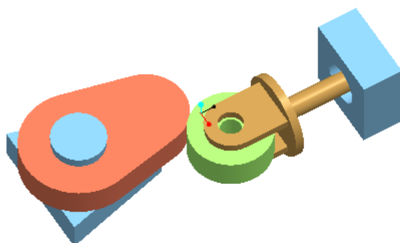


图 4.68　凸轮机构

1．组装活塞

（1）选择菜单栏中的【文件（F)】→【设置工作目录（W)】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择活塞所在的文件夹，单击【确定】按钮，完成工作目录的设置。

（2）选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建（N)】命令，系统弹出“新建”对话框，勾选【组件】复选框，在【名称】文本框中键入 000，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（3）在“文件选项”对话框中，选中【模板】列表框中的“mmns_asm_design”选项，单击【确定】按钮，进入装配设计模块。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【元件（C)】→【装配（A)】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 2.prt，单击【打开】按钮，支架就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（5）选择【用户定义】右侧下拉列表框中的“固定”选项，在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成支架的装配约束。

（6）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【元件（C)】→【装配（A)】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 1.prt，单击【打开】按钮，支架就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（7）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择支架销轴轴线和凸轮安装孔的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择支架安装面和凸轮的侧面，如图 4.69 所示。

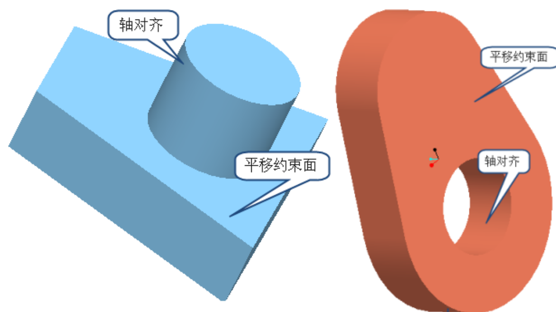


图 4.69　销钉约束元素

（8）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成基座的装配约束。

（9）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 3.asm，单击【打开】按钮，滑杆就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（10）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“滑动杆”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择支架安装孔的轴线和滑杆轴线，单击【旋转】按钮，在 3D 模型中选择支架的 FRONT 基准面和滑杆的 FRONT 基准面，如图 4.70 所示。

（11）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成滑杆的装配约束。

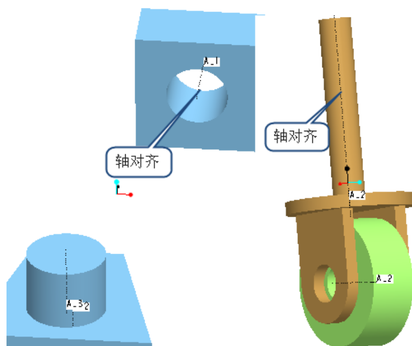


图 4.70　滑动杆约束元素

2．机构设置

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进行机构平台。

（2）单击【模型】工具栏上的【凸轮】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【凸轮（C）】命令，系统弹出“凸轮从动机构连接定义”对话框。

（3）单击【凸轮 1】选项卡中【曲面/曲线】选项组中【选取】按钮，在 3D 模型中选择凸轮的工作面，如图 4.71 所示。

（4）单击【凸轮 2】选项卡中【曲面/曲线】选项组中【选取】按钮，在 3D 模型中选择凸轮的工作面，如图 4.72 所示。

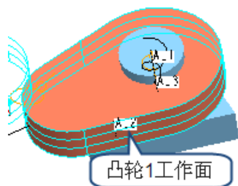


图 4.71　凸轮 1 工作面

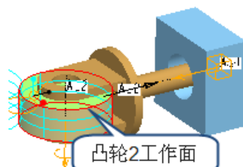


图 4.72　凸轮 2 工作面

（5）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成凸轮的定义。

（6）单击“视图”工具栏上的【拖动元件】工具按钮，或选择菜单栏中的【视图（V）】→【方向（Q）】→【拖动元件（D）】命令，系统弹出“拖动”对话框和“选取”对话框。

（7）在 3D 模型中，选择拖动点，如图 4.73 所示。



图 4.73　拖动点

（8）在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，移动鼠标，模型运动如图 4.74 所示。

（9）单击“拖动”对话框中的【关闭】按钮，完成模型的拖动。

（10）单击【模型】工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，系统弹出“伺服电动机定义”对话框，点选【从动图元】选项组中【运动轴】单选按钮，单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择伺服电动机旋转轴，如图 4.75 所示。

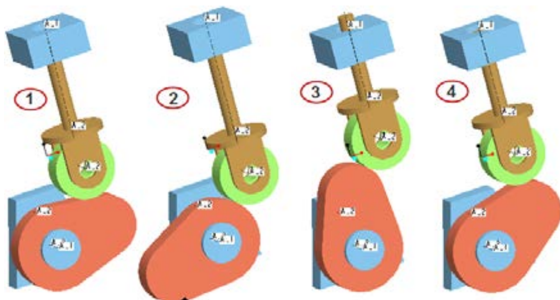


图 4.74　运动图

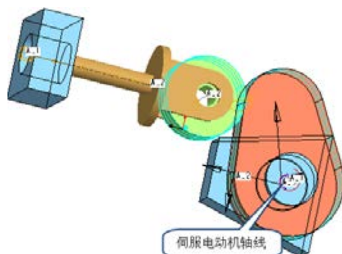


图 4.75　伺服电动机轴线

（11）在“伺服电动机定义”对话框中，单击【轮廓】按钮，选择【规范】下拉列表框中的“速度”选项，选择【模】下拉列表框中的“常数”选项，在【A】文本框中键入 36，单击【确定】按钮，完成伺服电动机的创建。

3．运动分析

（1）自由度分析。单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，如图 4.76 所示，选择【类型】下拉列表框中的“力平衡”选项，单击【自由度】选项组中【DOF】右侧的【评估】按钮，在【DOF】文本框中显示为 1，表示模型系统的自由度为 1。

（2）运动仿真

- 单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，选择【类型】下来列表框中的“运动学”选项，在【终止时间】文本框中键入 10；
- 其他选项为系统默认值，单击【运行】按钮，模型就开始运动，效果参见目录下的 000.avi。

（3）包络分析

- 单击“运动”工具栏上的【回放】工具按钮，系统弹出“回放”对话框；
- 单击【创建运动包络】工具按钮，系统弹出“创建运动包络”对话框，单击【选取元件】选项组中【选取】按钮，在 3D 模型中选择凸轮，选中对话框中的【颠倒三角形】按钮，然后单击【预览】按钮，效果如图 4.77 所示；



图 4.76　“分析定义”对话框

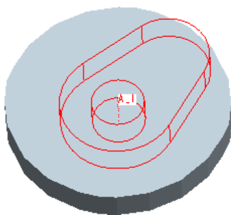


图 4.77　窗口的凸轮包络

- 单击【关闭】按钮，返回“回放”对话框，单击【关闭】按钮，完成包络分析。

（4）分析测量结果

- 单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框，单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 4.78 所示。
- 在“测量定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“速度”选项，单击【点

或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择滑杆滚轮一点，如图 4.79 所示。

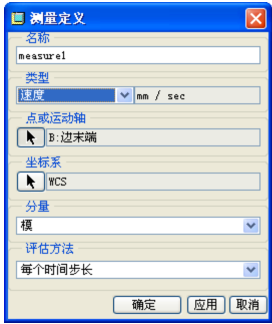


图 4.78 “测量定义”对话框

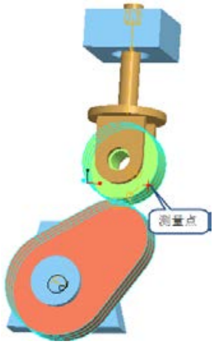


图 4.79 测量点

❑ 在“测量定义”对话框中，单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框，选中【测量】列表框中的“measure1”选项，选中【结果集】列表框中的“AnalysisDefinition1”选项，单击工具栏中的【绘制选定结果集所选测量的图形】按钮，系统弹出“图形工具”对话框，对话框中显示结果，如图 4.80 所示。

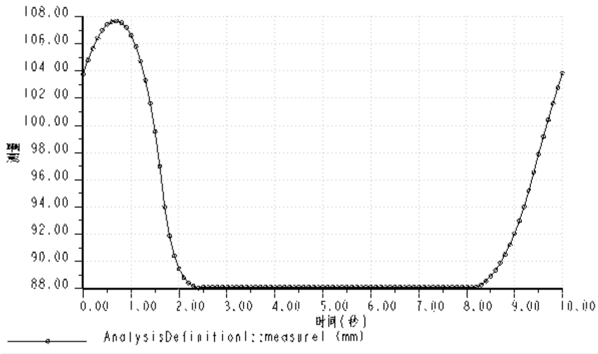


图 4.80 滑杆滚轮一点速度曲线

❑ 退出图形工具窗口，保存分析结果，完成模型的分析。

4.3.3 齿轮机构

齿轮机构是各种机械中应用最广泛的一种传动机构。它可以用来传递空间任意两轴间的运动和动力，并具有功率范围大、传递效率高、传动比精确、使用寿命长，以及工作安全可靠等特点。齿轮机构的应用广泛，类型众多。按照传动方式，可以分为：正齿轮、内齿轮、齿轮和齿条、螺旋齿轮、锥齿轮、人字齿轮、蜗杆和涡轮。

下面以如图 4.81 所示蜗杆和涡轮机构为例，讲解齿轮传动机构的仿真过程。

1．组装蜗轮蜗杆

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择活塞所在的文件夹，单击【确定】按钮，完成工作目录的设置。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，勾选【组件】复选框，在【名称】文本框中键入 002，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（3）在“文件选项”对话框中，选中【模板】列表框中的“mmns_asm_design”选项，单击【确定】按钮，进入装配设计模块。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【创建】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【创建（C）】命令，系统弹出“元件创建”对话框，如图 4.82 所示。

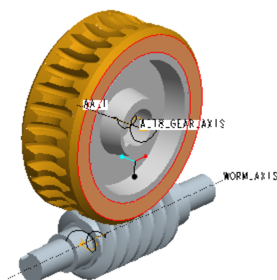


图 4.81　蜗轮蜗杆机构

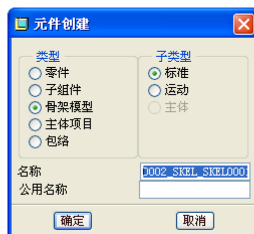


图 4.82　“元件创建”对话框

（5）在“元件创建”对话框中，点选【骨架模型】单选按钮，在【名称】文本框中键入 0002_SKEL_SKEL0001，单击【确定】按钮，系统弹出创建选项，点选【空】单选按钮，单击【确定】按钮，进入元件创建平台。

（6）单击“基准”工具栏上的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，如图 4.83 所示，按 Ctrl 键，在 3D 模型中选择 TOP、RIGHT 基准面，单击【确定】按钮，完成基准轴的创建。

（7）单击“基准”工具栏上的【平面】工具按钮，系统弹出“基准平面”对话框，如图 4.84 所示，在 3D 模型中选择 TOP 基准平面，在【平移】文本框中键入 51.05，单击【确定】按钮，完成基准平面的创建。

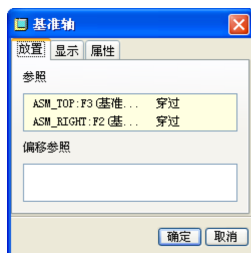


图 4.83　“基准轴”对话框

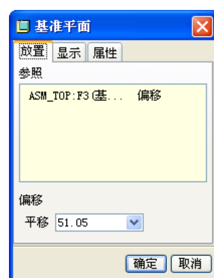


图 4.84　“基准平面”对话框

（8）单击“基准”工具栏上的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，按 Ctrl 键，在 3D 模型中选择 FRONT、ADTM 基准面，单击【确定】按钮，完成基准轴的创建。

（9）选择菜单栏中的【窗口（W）】→【激活（A）】命令，激活当前的装配模块。

（10）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 A.prt，单击【打开】按钮，蜗杆就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板，如图 4.85 所示。

（11）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择刚才创建的轴线和蜗杆的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择组件的 RIGHT 基准平面和蜗杆的 DTM 基准平面，如图 4.86 所示。

（12）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成蜗杆的装配约束。

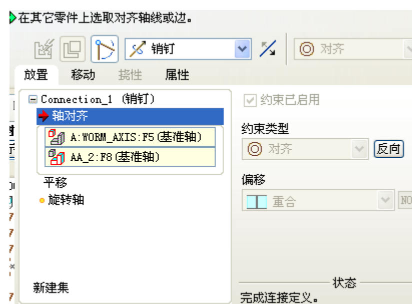


图 4.85　控制面板

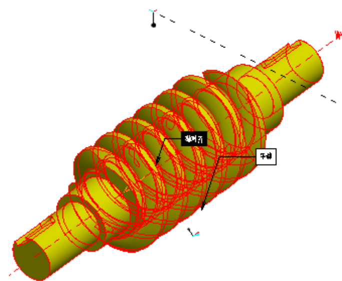


图 4.86　约束的蜗杆

（13）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 B.prt，单击【打开】按钮，蜗轮就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（14）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择刚才创建的轴线和蜗轮的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择组件的 RIGHT 基准平面和蜗杆的 DTM 基准平面，如图 4.87 所示。

（15）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成蜗轮的装配约束。

2．机构设置

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进行机构

平台。

（2）单击【模型】工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，系统弹出”伺服电动机定义“对话框，点选【从动图元】选项组中【运动轴】单选按钮，单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择伺服电动机旋转轴，如图 4.88 所示。

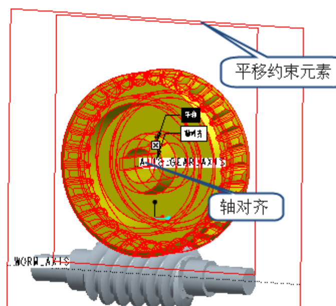


图 4.87　销钉约束元素

（3）在“伺服电动机定义”对话框中，单击【轮廓】按钮，如图 4.89 所示，选择【规范】下拉列表框中的“速度”选项，选择【模】下拉列表框中的“常数”选项，在【A】文本框中键入 310，单击【确定】按钮，完成伺服电动机的创建。

（4）单击【模型】工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，系统弹出“伺服电动机定义”对话框，点选【从动图元】选项组中【运动轴】单选按钮，单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择伺服电动机旋转轴，如图 4.90 所示。





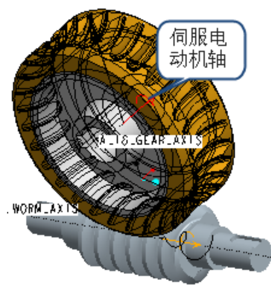


图 4.88　伺服电动机轴线　　图 4.89　“伺服电动机定义”对话框　　图 4.90　伺服电动机轴线

（5）在“伺服电动机定义”对话框中，单击【轮廓】按钮，选择【规范】下拉列表框中的“速度”选项，选择【模】下拉列表框中的“常数”选项，在【A】文本框中键入 20，单击【确定】按钮，完成伺服电动机的创建。

3．运动分析

（1）运动仿真

❑ 单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，选择【类型】下来列表框中的“运动学”选项，在【终止时间】文本框中键入 10。

❑ 其他选项为系统默认值，单击【运行】按钮，模型就开始运动，效果参见目录下的 002.avi。

（2）分析测量结果

❑ 单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框，单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 4.91 所示。

❑ 在“测量定义”对话框中，选择【类型】下拉列表框中的“位置”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择涡轮一点，如图 4.92 所示。



图 4.91 “测量定义”对话框

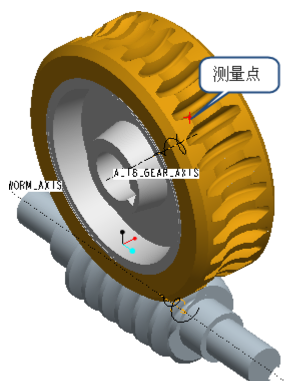


图 4.92 测量点

❑ 在“测量定义”对话框中，单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框，选中【测量】列表框中的“measure1”选项，选中【结果集】列表框中的“AnalysisDefinition1”选项，单击工具栏中的【绘制选定结果集所选测量的图形】按钮，系统弹出“图形工具”对话框，对话框中显示结果，如图 4.93 所示。

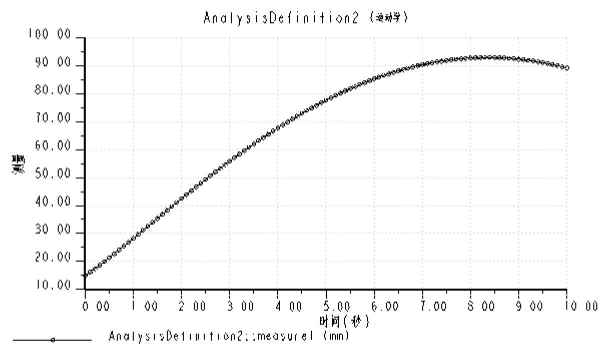


图 4.93 涡轮一点位置曲线

❑ 退出图形工具窗口，保存分析结果，完成模型的分析。

第 5 章　动画制作



内容导航

动画制作是另一种能够让组件动起来的方法。可以不设定运动副，使用鼠标直接拖动组件，仿照动画影片制作过程，一步一步生产关键帧，最后连续播映这些关键制造影像。使用该功能相当自由，无需在运动组件上设定任何连接和伺服电动机，也可以设定。

5.1　动画制作概述

当在产品销售、简报时；在示范说明产品的组装、拆卸与维修的程序时；处理高复杂度组件的运动仿真时，可以使用该功能制作高品质的动画。

5.1.1　进入动画制作模块

进入“装配设计”模块，选择【应用程序（P）】→【动画（A）】命令，系统自动进入动画制作模块，如图 5.1 所示。

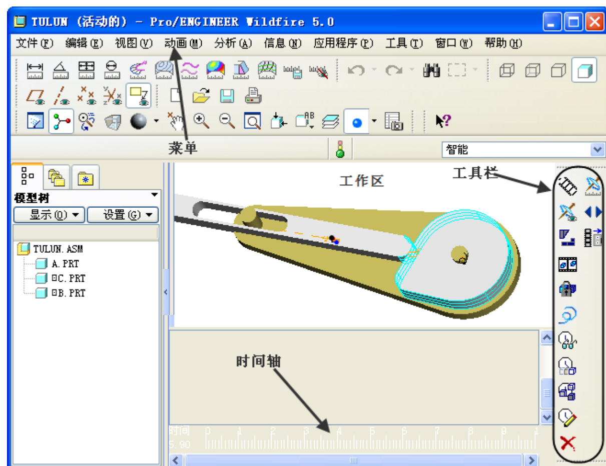


图 5.1　动画制作模块

5.1.2　动画制作菜单栏介绍

动画制作模块中的菜单栏包括【文件（F）】、【编辑（E）】、【视图（V）】、【动画（M）】、【分析（A）】、【信息（N）】、【应用程序（P）】、【工具（T）】、【窗口（W）】和【帮助（H）】等菜单。【动画（M）】菜单栏是动画制作模块中特有的菜单栏，如图 5.2 所示，其他菜单栏与机构模块中相应的菜单栏相同。【动画（M）】菜单栏主要分为 4 部分：动画的创建、动画制作、动画的显示设置、动画的播放和输出。

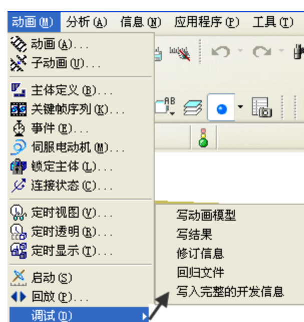


图 5.2　动画菜单栏

动画的创建主要使用动画、子动画两个命令；动画制作是本章中重要介绍部分，主要使用主体定义、关键帧序列、事件、伺服电动机等动画制作命令；动画的显示设置主要使用定时视图、定时透明、定时显示 3 个命令；动画的播放和输出主要使用启动、回放、调试 3 个命令来完成。

5.1.3　动画制作工具栏

【动画制作】工具栏，如图 5.3 所示，使用该工具栏能够完成动画的创建、制作、输出等功能。工具栏中的大部分工具与【动画（M）】菜单栏中的命令相互对应。【动画显示】、【选取的】、【移除】、【导出】等工具是与其他菜单栏中的命令相对应。各工具的使用方法将在后续详细介绍。



图 5.3　【动画制作】工具栏

5.2　定义动画

定义动画是制作动画的起步。当需要对机构进行制作动画时，首先进入动画制作模

块，使用工具定义动画，然后使用动画制作动画制作工具创建动画，最后对动画进行播放和输出。当对复杂机构进行创建动画时，使用一个动画过程很难表达清楚，这时就需要定义不同动画过程。

5.2.1　创建动画

1．创建动画

【动画】工具，是对机构中动画过程进行创建、编辑和删除的工具。单击该工具按钮，系统弹出“动画”对话框，如图 5.4 所示。

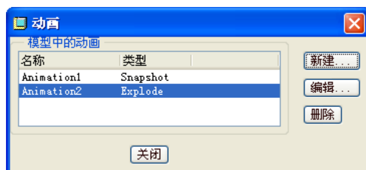


图 5.4　“动画”对话框

（1）【模型中的动画】列表框中列出当前模型中的动画，包括动画名称和类型。

（2）【新建】按钮用于新建动画。单击该按钮系统弹出定义“动画”对话框，如图 5.5 所示。

- ❑ 【名称】文本框用于定义动画的名称，默认值为 Animation，也可以自定义。
- ❑ 【类型】选项组用于选择新建动画的类型：快照、分解。点选【分解】单选按钮，对话框更新为如图 5.6 所示，在【初始快照】文本框中定义初始快照名称，单击其后的【捕捉快照中的当前位置】按钮，系统弹出“拖动”对话框。

（3）【编辑】按钮用于更改名称。在列表框中选中动画，单击该按钮，系统弹出如图 5.7 所示对话框，使用该对话框可以更改动画名称，【类型】选项组变成灰色是不可编辑状态。

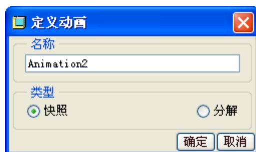


图 5.5　定义“动画”对话框



图 5.6　定义“动画”对话框



图 5.7　定义“动画”对话框

（4）【删除】按钮用于删除列表框中的动画。在列表框中选中动画，使其高亮显示，单击该按钮，被选中的动画就被删除掉了。

2．创建子动画

【子动画】命令，是将创建的动画设置为某一动画的子动画。



注意

使用该命令生产的子动画与父动画类型必须一致。

下面以创建两个快照动画为例，讲解【子动画】命令的使用方法。

（1）选择菜单栏中的【动画（M）】→【动画（A）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【动画】工具按钮，系统弹出“动画”对话框。

（2）在对话框中，单击【新建】按钮，系统弹出定义“动画”对话框，保持默认设置，单击【确定】按钮，新的动画创建完成。

（3）关闭“动画”对话框，选择菜单栏中的【动画（M）】→【子动画（U）】命令，系统弹出“包含在 Animation2 中”对话框，如图 5.8 所示，如果想将动画 Animation2 生产动画 Animation1 的子动画，那么在“动画”对话框中，选中动画 Animation1 使其高亮显示，如图 5.9 所示。



注意

系统默认生产一个动画，这里只需再建一个动画。

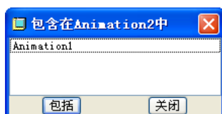


图 5.8 “包含在 Animation2 中”对话框

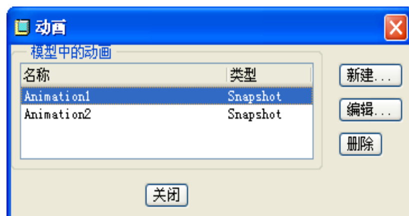


图 5.9 “动画”对话框

（4）在“包含在 Animation2 中”对话框中，选中 Animation1 使其高亮显示，单击【包括】按钮，动画时间轴就添加到时间表中，如图 5.10 所示，选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。

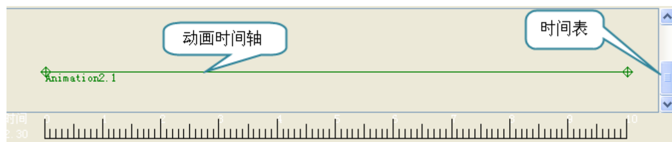


图 5.10 动画时间轴

5.2.2　动画显示

【动画显示】工具按钮，是在 3D 模型中显示动画图标的工具。选择菜单栏中的【视图（V）】→【显示设置（Y）】→【动画显示（A）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【动画显示】工具按钮，系统弹出“显示图元”对话框，如图 5.11 所示。

- 勾选【伺服电动机】复选框，在 3D 模型中显示伺服电动机图标，如图 5.12 所示。
- 勾选【接头】复选框，在 3D 模型中显示各种接头图标。
- 勾选【槽】复选框，在 3D 模型中显示槽特殊连接图标。
- 勾选【凸轮】复选框，在 3D 模型中显示凸轮特殊连接图标。
- 勾选【3D 接触】复选框，在 3D 模型中显示 3D 接触特殊连接图标。
- 勾选【齿轮】复选框，在 3D 模型中显示齿轮特殊连接图标。
- 勾选【带传动】复选框，在 3D 模型中显示带传动特殊连接图标，如图 5.12 所示。
- 勾选【LCS】复选框，在 3D 模型中显示坐标系图标，如图 5.12 所示。
- 勾选【从属关系】复选框，在 3D 模型中显示从属关系图标。
- 单击【全部显示】按钮，将全部选中以上复选框。相反，单击【取消全部显示】按钮，将取消所选择的复选框。



图 5.11　“显示图元”对话框

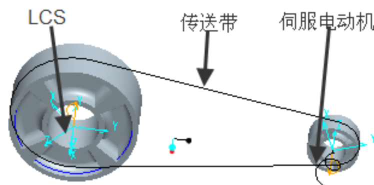


图 5.12　凸轮机构

5.2.3　定义主体

动画移动时，是以主体为单位，而不是组件。根据“机械设计”模块下的主体原则，通过约束组装零件。在“动画设计”模块下所设定的主体信息是无法传递到“机构”模块中。

选择菜单栏中的【动画（M）】→【主体定义（B）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【主体定义】工具按钮，系统弹出“主体”对话框，如图 5.13 所示。

- 对话框左侧列表框显示当前组件中的主体，系统默认为地、零件。

❑ 【新建】按钮，用于新增主体并加入到组件中。单击该按钮，系统弹出“主体定义”对话框，如图 5.14 所示，在【名称】文本框中变更主体名称，单击【添加零件】选项组中的【选取】箭头按钮，在 3D 模型中选取零件，【零件编号】文本框显示当前选取的主体数目。

❑ 【编辑】按钮，用来编辑列表框中选中高亮显示的主体。单击该按钮，系统弹出“主体定义”对话框，如图 5.14 所示。

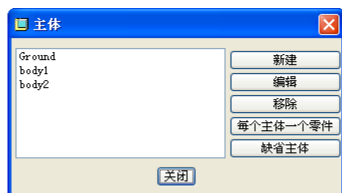


图 5.13 “主体定义”对话框

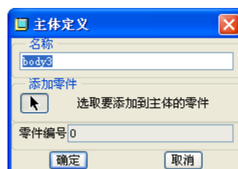


图 5.14 “主体定义”对话框

❑ 【移除】按钮，用于从组件中移除在列表框中选中的主体。

❑ 【每个主体一个零件】按钮，用于一个主体仅能包含一个组件，但是当一般组件或包含次组件的情况须特别小心，因为所有组件形成一个独立的主体，可能得重定义基体。

❑ 【缺省主体】按钮，用于恢复至约束所定义状态，可以重新开始定义所有主体。

5.3 动画制作

动画制作是本章核心部分，本节主要通过简单的方法创建高质量的动画。Pro/Engineer Wildfire 5.0 中主要通过关键帧、锁定主体、定时图等工具完成动画的制作。

5.3.1 关键帧排序

【关键帧排序】工具，是加入并排列已建立的关键帧，也可以改变关键帧出现时间、参考主体、主体状态等。选择菜单栏中的【动画（M）】→【关键帧排序】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【关键帧排序】工具按钮，系统弹出“关键帧排序”对话框，如图 5.15 所示。

（1）【名称】文本框用于自定义关键帧排序，系统默认为 Kfs2。

（2）【参照主体】选项组用于定义主体动画运动的参照物，系统默认为 Ground（地）。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择运动主体的参照物，单击【确定】按钮。

（3）【序列】选项卡是使用拖动建立关键帧，调整每一个关键帧出现的时间、预览

关键帧影像等。

❑ 【关键帧】选项组用于添加关键帧、关键帧进行排序。单击【编辑或创建快照】按钮，系统弹出“拖动”对话框，在该对话框中进行快照的添加、编辑、删除等操作。使用该对话框建立的快照被添加到下拉列表框中。在下拉列表框中选中一种快照，单击其后的【预览快照】按钮，就可以看到该快照在 3D 模型中的位置。在下拉列表框中选中一种快照，在【时间】文本框中键入该快照出现的时间，单击其后的【添加关键帧到关键帧序列】按钮，该快照生产的关键帧被添加到列表框中，以此类推，添加多个关键帧。【反转】按钮用于反转所选关键帧的顺序。【移除】按钮用于移除在列表框中选中的关键帧。



图 5.15　“关键帧排序”对话框

❑ 【插值】选项组用于在两关键帧之间产生插补。在产生关键帧时，拖动主体至关键的位置生产快照影像，而中间区域就是使用该选项组进行插补的。不管是平移还是旋转，提供两种插补方式：线性、平滑。使用线性化方式可以消除拖动留下的小偏差。

（4）【主体】选项卡用于设置主体状态：必需的、必要的、未指定的。必需的和必要的是主体移动情况完全照关键帧排序、伺服电动机的设定运动。为指定的是主体为任意，也可以受关键帧、伺服电动机设定的影像。

（5）【再生】按钮是指关键帧建立后或有变化时，须再生整个关键帧影像。

修改该对象：选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。

5.3.2　事件

【事件】命令，是用来维持事件中各种对象（关键帧排序、伺服电动机、接头、次动画等）的特定相关性。例如某对象的事件发生变更时，其他相关的对象也同步改变。

选择菜单栏中的【动画（M）】→【事件（E）】命令，系统弹出“事件定义”对话框，如图 5.16 所示。

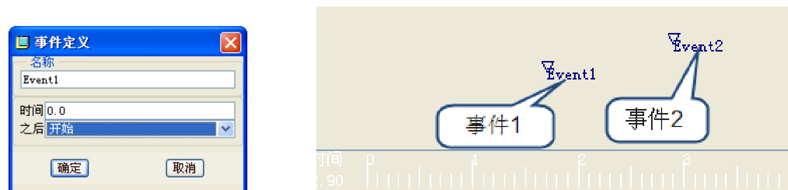


图 5.16　“事件定义”对话框

- 【名称】文本框用于定义事件的名称，默认为 Event，也可以自定义。
- 【时间】文本框用于定义事件发生时间。
- 【之后】下拉列表框用于选择事件发生时间参照，可以选择开始、Bodylock1 开始、Bodylock1 结束、终点 Animation1。

修改该对象：选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。

5.3.3　锁定主体

【锁定主体】工具，是创建新主体并添加到动画时间表中。选择菜单栏中的【动画（M）】→【锁定主体（L）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【锁定主体】工具按钮，系统弹出锁定“主体”对话框，如图 5.17 所示。

- 【名称】文本框用于定义事件的名称，默认为 BodyLock，也可以自定义。
- 【先导】主体选项组用于定义主动动画元件。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择主动元件，单击【确定】按钮。
- 【随动逐渐】选项组用于定义动画从动元件。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择从动元件，单击【确定】按钮。在列表框中选中随动主体，使其高亮显示，单击【移除】按钮，可以将选中的随动主体移除。
- 【开始时间】选项组用于定义该主体的开始运行时间。在【时间】文本框用于定义锁定主体发生时间；在【之后】下拉列表框用于选择锁定主体发生时间参照，可以选择开始、终点 Animation1 等时间列表中的对象。
- 【终止时间】选项组用于定义该主体的终止时间。在【时间】文本框用于定义锁定主体发生时间；在【之后】下拉列表框用于选择锁定主体发生时间参照，可以选择开始、终点 Animation1 等时间列表中的对象。
- 单击【应用】按钮，该主体就被添加到时间表中，效果如图 5.18 所示。选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。

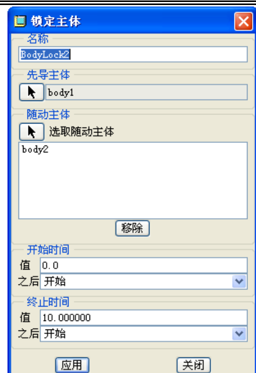


图 5.17 锁定“主体”对话框

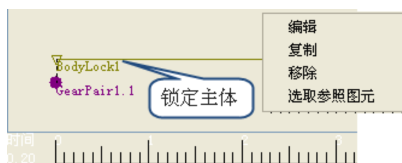


图 5.18 时间表中的主体

5.3.4 创建电动机

【伺服电动机】工具，是创建新的伺服电动机。该工具的使用方法参见 3.6 小节。

5.3.5 连接状态

【连接状态】命令是用于显示连接状态并将其添加到动画中的命令。选择菜单栏中【动画（M）】→【连接状态（C）】命令，弹出“连接状态”对话框，如图 5.19 所示。

- 【连接】选项组用于选择机构模型中的连接。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择连接，单击【确定】按钮。
- 【时间】选项组用于定义该连接的开始运行时间。在【值】文本框用于定义连接发生时间；在【之后】下拉列表框用于选择连接发生时间参照，可以选择开始、终点 Animation1 等时间列表中的对象。
- 【状态】选项组用于定义当前选中的连接的状态：启动、禁止。
- 【锁定/解锁】选项组用于定义当前选中的连接状态：锁定、解锁。
- 单击【应用】按钮，该连接就添加到时间表中，如图 5.20 所示，选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。

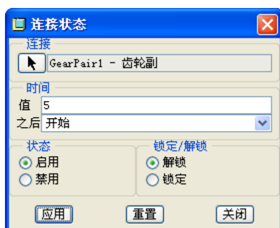


图 5.19 “连接状态”对话框



图 5.20 添加到时间表中的连接

5.3.6 定时视图

【定时视图】工具，是将机构模型生成一定视图在动画中显示。选择菜单栏中的【动画（M）】→【定时视图（V）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【定时视图】工具按钮，系统弹出“定时视图”对话框，如图 5.21 所示。

❑ 【名称】下拉列表框应用选择定时视图名称：BACK、BOTTOM、DEFAULT、FRONT、LEFT、RIGHT、TOP 等默认视图。

❑ 【时间】选项组用于定义该连接的开始运行时间。在【值】文本框用于定义定时视图发生时间；在【之后】下拉列表框用于选择定时视图发生时间参照，可以选择开始、终点 Animation1 等时间列表中的对象。

❑ 【全局视图插值设置】选项组显示当前视图使用的全局视图插值。

❑ 单击【应用】按钮，该定时视图就添加到时间表中，如图 5.22 所示，选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。



图 5.21 “定时视图”对话框



图 5.22 创建的定时视图

5.3.7 定时透明视图

【定时透明】工具，是将机构模型中元件生成一定透明视图在动画中显示。选择菜单栏中的【动画（M）】→【定时透明（R）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【定时透明】工具按钮，系统弹出“定时透明”对话框，如图 5.23 所示。

❑ 【名称】文本框用于定义当透明视图的名称，系统默认为 Transparency，也可以自定义。

❑ 【透明】选项组用于定义透明元件以及元件透明度的设置。单击【选取】箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择欲设置透明度的元件，单击【确定】按钮；拖动滑块设置透明度，如图 5.24 所示为透明度为 50%和 80%的效果图。

❑ 【时间】选项组用于定义该连接的开始运行时间。在【值】文本框用于定义定时透明发生时间；在【之后】下拉列表框用于选择定时透明发生时间参照，可以选择开始、终点 Animation1 等时间列表中的对象。

❑　单击【应用】按钮，该定时透明视图就添加到时间表中，选中该对象，使其变成红色，右键单击该对象，系统弹出上下文菜单，选择编辑、复制、移除、选取参照图元命令，对齐进行修改。



图 5.23　“定时透明”对话框

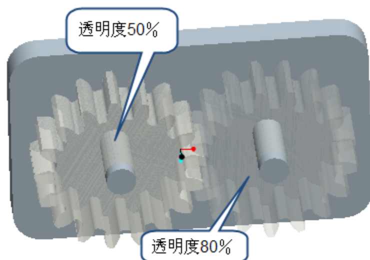


图 5.24　透明元件

5.3.8　定时显示

【定时显示】工具，是定义当前视图显示的样式。选择菜单栏中的【动画（M）】→【定时显示（T）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【定时显示】工具按钮，系统弹出“定时显示”对话框，如图 5.25 所示。

❑　【样式名称】下拉列表框用于选择定时显示的样式：缺省样式、主样式。

❑　【时间】选项组用于定义该连接的开始运行时间。在【值】文本框用于定义定时显示发生时间；在【之后】下拉列表框用于选择定时显示发生时间参照，可以选择开始、终点 Animation1 等时间列表中的对象。

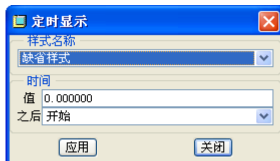


图 5.25　定时显示

5.3.9　编辑和移除对象

1．编辑对象

【选取的】工具，是对选中的动画对象进行相应的编辑。在时间表中选中对象，单击该工具按钮，系统弹出“对象相对于的”对话框进行编辑。该工具功能相当于右键功能菜单中的编辑，或者双击对象功能。

2．移除对象

【移除】工具，是在时间表中选中的动画对象进行移除。在时间表中选中对象，

单击该工具按钮，该对象就被移除掉。该工具功能相当于右键功能菜单中的移除。

5.4　生成动画

5.4.1　启动动画

【启动】工具，是对创建的动画进行播放的工具。选择菜单栏中的【动画（M）】→【启动（S）】命令，或单击“动画模型”工具栏上的【启动】工具按钮，动画就按照使用工具生成的动画播放，有利于进行观察，是否符合设计目的。

5.4.2　回放

【回放】工具，是对动画进行播放的工具。选择菜单栏中的【动画（M）】→【回放（P）】命令，或者单击“动画模型”工具栏上的【回放】工具按钮，该工具的使用方法参见 4.2.1 小节介绍。

5.4.3　输出动画

【导出】工具，是将生成的动画输出到硬盘进行保存的工具。单击“动画模型”工具栏上的【导出】工具按钮，就将当前设计的动画保存在默认的路径文件夹下，系统默认为 Animation1.fra。




第 2 篇

结构和热力学分析篇

本篇主要介绍了结构分析模块、建立机构分析模型的方法步骤、机构各种结构分析以及热力学分析等内容。详细讲述了静态分析、模态分析、失稳分析、疲劳分析、预应力分析、动态分析以及敏感度分析、优化设计等。




第 6 章　结构分析概述



内容导航

本章主要是通过一个实例的学习,进一步理解了结构分析、优化设计的方法步骤，对于结构分析和优化设计有个清晰的认识。介绍了与本章有关的菜单栏和工具栏中的命令。

Pro/Mechanica 是集静态、动态结构分析于一体的有限元分析模块，能够模拟真实环境为模型施加约束和载荷，测算模型的应力、应变、位移等参数，实现静态、翘曲、疲劳、频率、振动等分析；通过指定设计参数，能够在给出变化范围内进行敏感度分析，并借助优化分析为模型寻找到最佳参数。结构设计主要是完成如下 3 个主体内容：

- 结构强度与寿命评估

由于结果的速度、成本、耐用性、可靠性的要求不断提高，导致结构设计师在设计结构时，以减轻产品重量为最高原则（因为和成本有很大关系）。这样，结构强度与寿命的评估就变得越来越复杂，越来越重要。要进行结构强度与寿命评估，经常需要参照有关理论、方法、行业上的规范及材料的依据。而这些理论、方法、资料大都是经过大量实验、工程实务归纳出来的，国外将这方面的研究成果编制成软件，如 Pro/Mechanica、Fauigue、Marc 等。

- 结构优化

结构优化设计是将设计问题的理学特性与数值方法中的各种相似的手段相结合，然后将高度非线性问题转化为一系列近似的带状显示约束问题，最后再通过数学规划法来解答。现代社会，已经将结构优化设计应用于工程优化设计中，并形成了专门研制工程优化设计软件。随着计算机技术的发展，工程优化设计软件可以处理的变量规模不断扩大，从最初的十几个变量发展到上万个变量，从最初的结构尺寸参数优化，到现代的结构形状优化等。

- 有限元分析

有限元分析是一个以有限元为基础的技术，可以分析产品零件或组装系统，以确保整个产品符合设计要求。有限元模型和产品的几何模型是相关的，经过建模和分析后，工程师将计算出的结构反应（变形、应力、温度等），并以图形形式表示出来。如果计算的结果不符合预期，那么结构设计师就需要再次设计和再次分析，直到达到可接受的设计值为止。而这种再设计/再分析的循环周期，就是前面谈到的“结构优化”。

6.1　结构分析模块

结构分析模块是专门进行零件和组建模式下的结构分析，其分析类有静态分析、模态分析、屈曲分析、接触分析、预应力分析及振动分析等。

6.1.1　结构分析模块简介

当进入零件设计模块或组装设计模块时，选择【应用程序】→【Mechanica】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，如图 6.1 所示，该对话框的内容如下：

（1）勾选【功能模块】选项组中的【Mechanica Lite】复选框，表示使用 Mechanica 免费试用版本，其他选项变成灰色不可用状态。

（2）【模型类型】下拉列表框用于选择模型的分析类型：Structure、Thermal 两种模型类型。单击【Advanced】按钮，展开扩展对话框，如图 6.2 所示，在【类型】选项组中选择分析类型：3D、2D Plane Stress、2D Plane Strain、2D Axisyetric，然后在【坐标系】和【几何】选项组选择 3D 中的几何参数。

- ❑ Structure 类型是专门进行零件和组件模式下的结构分析，可以进行静态分析、模态分析、屈曲分析、接触分析、预应力分析及振动分析。
- ❑ Therma 类型是专门进行零件和组件模式下的静态和温度分析，也可以根据热力状态进行灵敏度分析和优化设计。

（3）勾选【FEM 模式】复选框，表示进行有限元模式分析，系统默认为基本模式。

- ❑ 基本模式（Native mode）
- ❑ 将使用 Mechanica 的适配型 P 码功能。它能够让我们创建像载荷、约束、连接、材料和测量等模型图像。在这种模式下 Mechanica 将使用 P 码元素来将模型网格化，并使用自己的解算器来提出解决方案。
- ❑ 有限元模式（FEM mode）

FEM 模式使用 Mechanica 的有限元模型功能来取替 P 码（P-Code）功能。这种功能可让我们创建像载荷、约束和理想化等 FEM 模型图素。同时，它也能使用 H 码元素来将模型网格化，然后再运行其他有限元分析软件（如 Nastran、Ansys 等）来分析这些模型并预览结果。

（4）【缺省界面】下拉列表框用于选择分析界面，根据选择的模型类型不同，这里的选项也不同，在 Structure 模式下为 Bnded（一般）、Free（自由）、Contact（连接）；在 Thermal 模式下为：Bnded（一般）、Adisbatic（绝热）、Thermal Resistance（热力摩擦）。根据选项不同模式的组合下，需要在【属性】选项组中设置其他选项。

通过上面介绍，了解到 Mechanica 模块中包括许多选项选择，根据实际需要选择合

适的选项在 Mechanica 工作台中进行分析。下面主要介绍在 Structure 模式下进行的结构分析，Thermal 模式下的分析将在后面逐渐介绍。



图 6.1 “Mechanica 模型设置”对话框

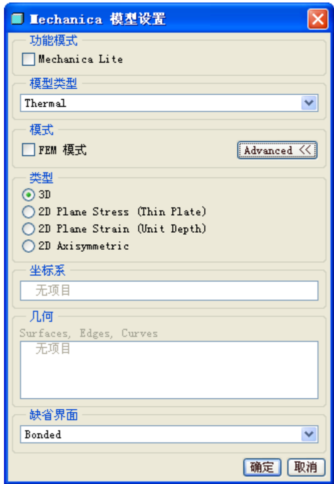
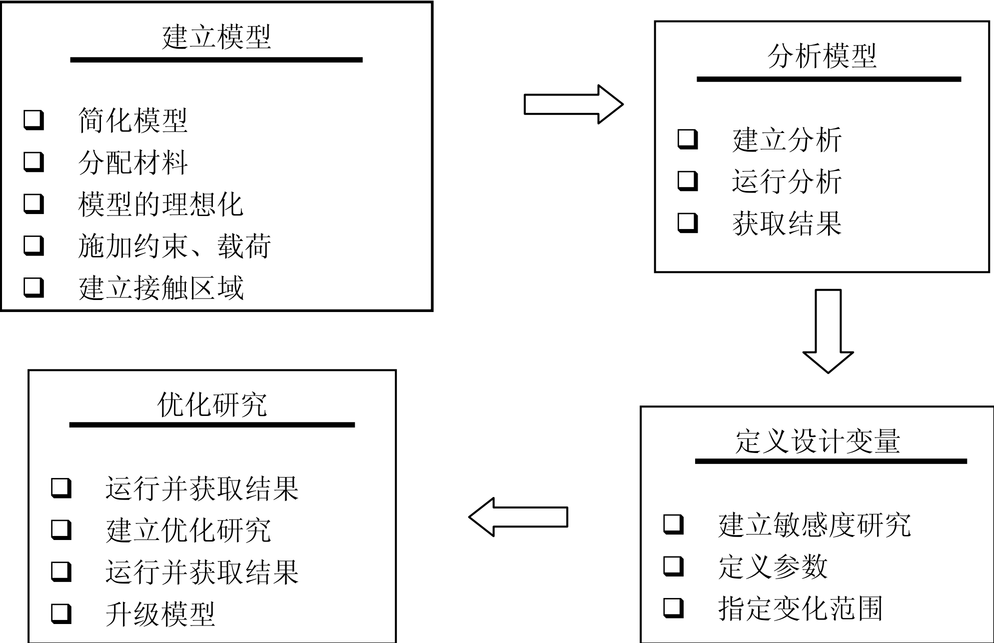


图 6.2 “Mechanica 模型设置”对话框

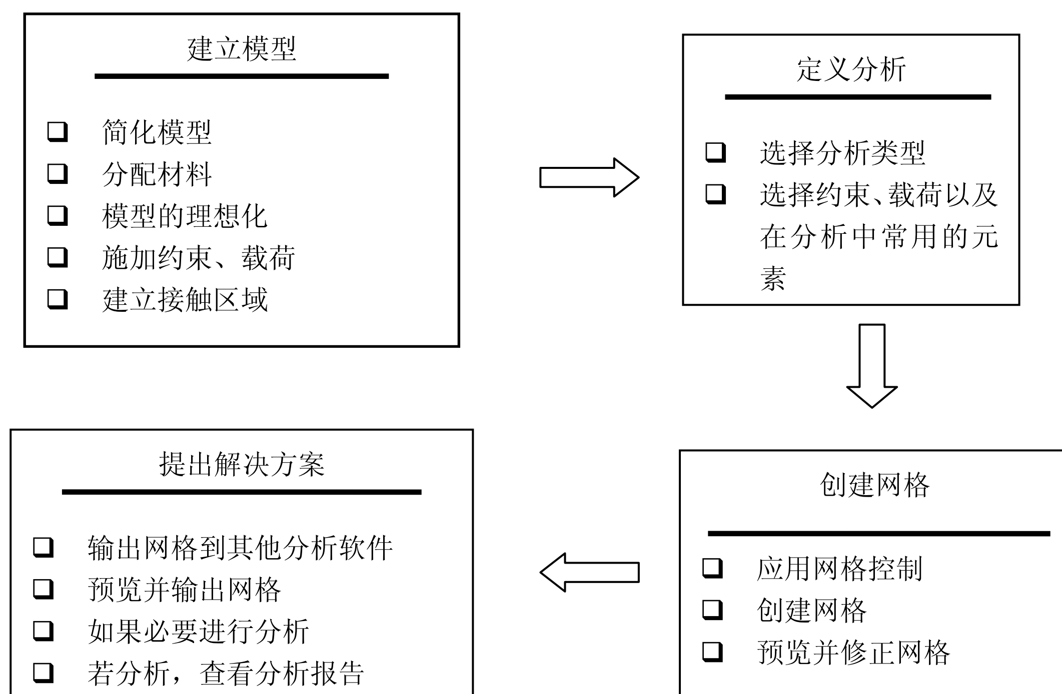
6.1.2 分析流程

对于基本和有限元模式，都是按照一定的分析流程进行分析。机构分析及优化的基本工作流程如下所示：

1．基本模式（Native Mode）



2．有限元模式（FEM Mode）



本节将通过简单的结构分析实例，使您对 Proe/Engineer 的有限元分析模块产生一个总体和清晰认识，并在第一时间看到显示器上的仿真画面。

下面以如图 6.3 所示模型为例，解决结构分析的流程。模型为钢板材料为 Q235A，其左侧与固定墙焊接在一起，右侧圆柱销子承受向下 100N 的力，分析该模型的应力分布和受力变形。

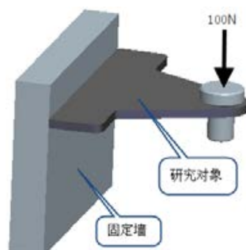


图 6.3　结构模型

1．建立模型

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，在【名称】文本框中键入 a，取消【使用缺省模板】复选按钮，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在【模板】选项组中选择 mmns_part_solid，单击【确定】按钮，进入零件设

计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮。

（4）在信息栏中单击【放置】选项卡，系统展开放置选项卡，如图 6.4 所示，单击【定义】按钮，系统弹出“草图“对话框，如图 6.5 所示。

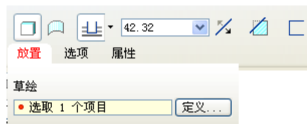


图 6.4　放置选项卡

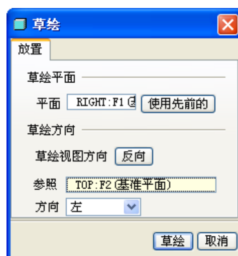


图 6.5　“草图“对话框

（5）在工作区中，选择 TOP 面作为绘图平面，系统自动进入草图绘制工作台，绘制如图 6.6 所示轮廓，单击【草图绘制工具栏】中的【完成】按钮，返回零件设计平台。

（6）在信息提示栏中【输入】文本框中键入 5，单击【完成】按钮，完成模型零件的设计，效果如图 6.7 所示。

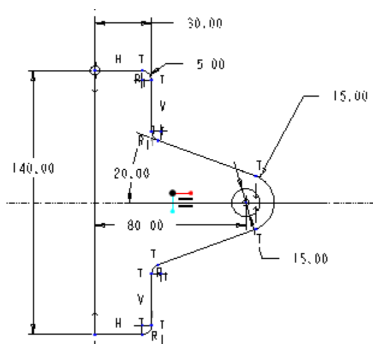


图 6.6　草图图

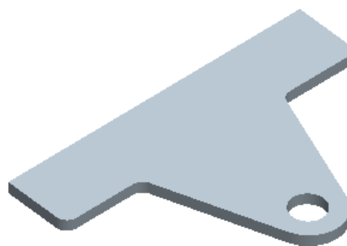


图 6.7　零件模型

（7）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Struture”选项，其他选项为默认值，单击【确定】按钮，进入机构分析模块。

（8）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，系统弹出“材料指定”对话框，如图 6.8 所示，单击【属性】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，如图 6.9 所示。

（9）双击对话框列表中的“sreel.mtl”，使其添加到右侧列表中，单击【确定】按钮。

（10）在“材料指定”对话框中，单击【确定】按钮，材料就分配到模型中。

（11）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，系统弹出

“力/力矩载荷”对话框，如图 6.10 所示。



图 6.8　“材料指定”对话框

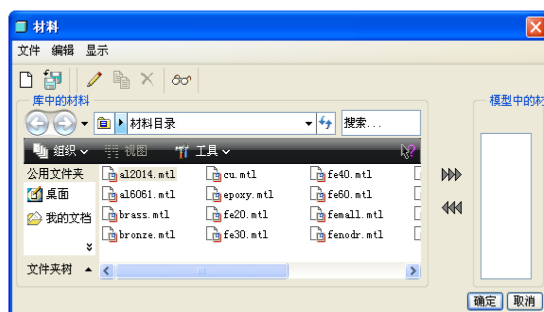


图 6.9　“材料”对话框

（12）在【参照】下拉列表框中选择“Edges/Curves”选项，在 3D 模型中选择孔 Ø15 的边，在【力】选项组中【Y】文本框中键入-1000，单击【确定】按钮，效果如图 6.11 所示。

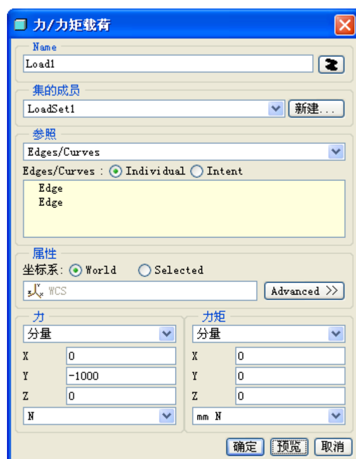


图 6.10　“力/力矩载荷”对话框

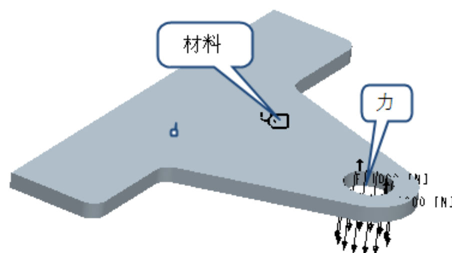


图 6.11　加力后的模型

（13）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【平面约束】工具按钮，系统弹出约束对话框，如图 6.12 所示。

（14）在 3D 模型中选择模型与固定墙连接的固定面，被添加到【参照】列表框中，单击【确定】按钮，完成零件约束的设置。

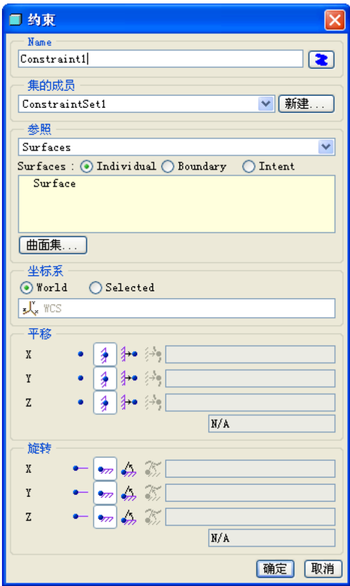
（15）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【壳对】工具按钮，系统“壳对定义”对话框，如图 6.13 所示。

（16）在 3D 模型中选择上表面，被添加到【参照】选项组中【顶部曲目】列表中；在 3D 模型中选择下表面，被添加到【参照】选项组中【底部曲目】列表中。

（17）其他选项为默认值，单击【完成】按钮，完成零件的理想化。

2．分析模型

（1）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框，如图 6.14 所示。



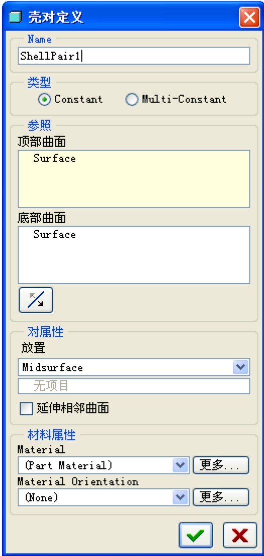
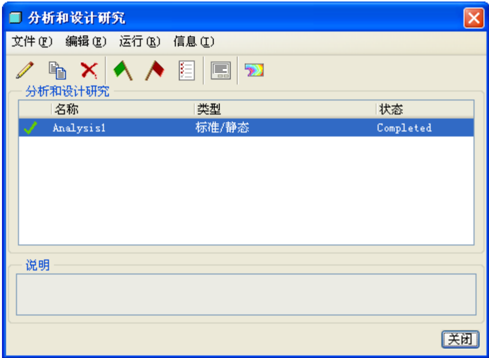


图 6.12 “约束”对话框　　图 6.13 “壳对定义”对话框

（2）在“分析和研究设计”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框，如图 6.15 所示。



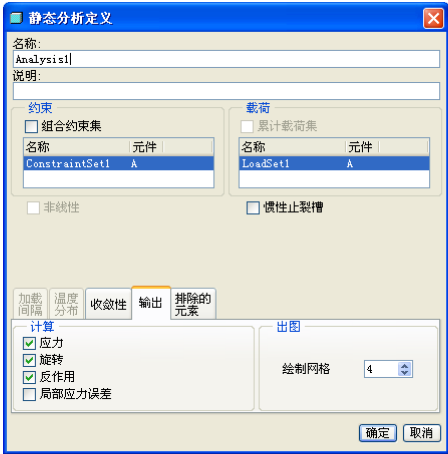


图 6.14 “分析和设计研究”对话框　　图 6.15 “静态分析定义”对话框

（3）在“静态分析定义”对话框中，选中【约束】列表框中的“ConstraintSet1”约束，使其高亮显示；选中【载荷】列表框中的“LoadSet1”载荷。

（4）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中的【应力】、【旋转】、【反作用】复选框，单击【确定】按钮，完成静态分析定义设置。

（5）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】

命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出“Question”对话框，如图 6.16 所示。

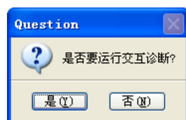


图 6.16 “Question”对话框

（6）单击【确定】按钮，分析开始，大约分析几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，如图 6.17 所示，列表框中列出分析过程，单击【关闭】按钮。

（7）单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 6.18 所示。

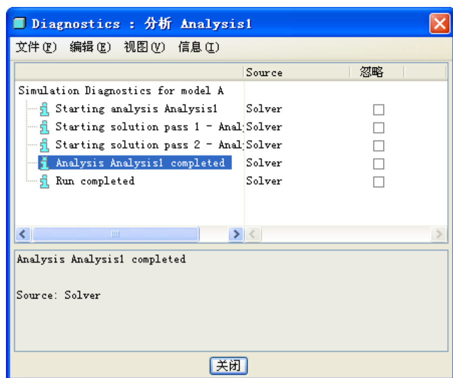


图 6.17 “诊断”对话框

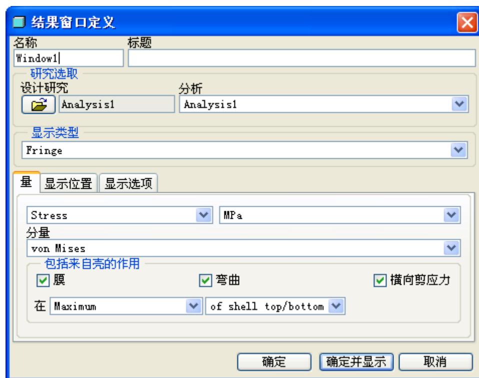


图 6.18 “结果窗口定义”对话框

（8）在对话框中，【量】选项卡中选择“Stress”选项，【分量】下拉列表框中选择“Maximum Shear Stress”选项，其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，系统进入结果显示窗口，分析结果如图 6.19 所示。

（9）单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，单击【显示选项】选项卡。

（10）勾选【连续色调】、【已变形】、【动画】、【自动启动】复选框，如图 6.20 所示。

（11）在“结果窗口定义”对话框中，单击【确定并显示】按钮，系统进入分析结果显示窗口，受力后变形动画参见目录下 example_1 文件夹下的 2009-03-08 20-59-04.avi 视频文件，最大形变如图 6.21 所示。

3．定义设计变量

（1）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（2）在“分析和研究设计”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建敏感度设计研究】命令，系统弹出“敏感度研究定义”对话框，如图 6.22 所示。

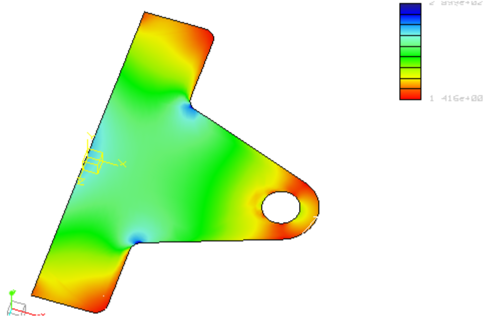


图 6.19　应力分析结果

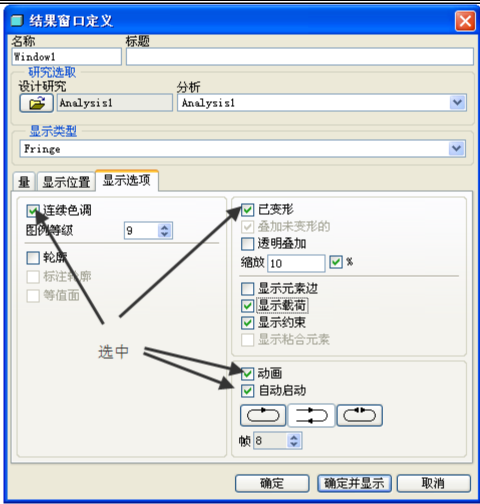


图 6.20　“结果窗口定义”对话框

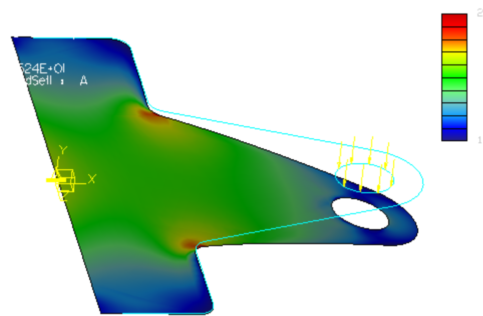


图 6.21　最大形变

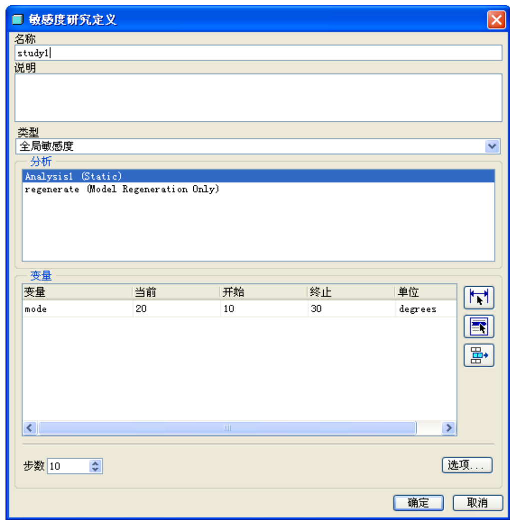


图 6.22　“敏感度研究定义”对话框

（3）在“敏感度研究定义”对话框中，单击【变量】选项组中列表框右侧【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选取 a.prt，然后在选取尺寸 20，系统自动返回“敏感度研究定义”对话框。

（4）单击列表框中【开始】与【终止】列下的文本框，设置开始为 10，终止为 30，单击【确定】按钮，完成设计变量的设计。

4．优化设计

（1）在“分析和设计研究”对话框中，选中“study1”选项，选择菜单栏中的【运行（R)】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出“Question”对话框。

（2）单击【确定】按钮，分析开始，大约分析几分钟以后，系统弹出“诊断”对

话框，列表框中列出分析过程，单击【关闭】按钮。

（3）单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 6.23 所示。

（4）单击【参数】按钮，选择“max_stress_vm”选项，其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，系统进入结果显示窗口，分析效果如图 6.24 所示，随着角度的增大最大应力逐渐减小。

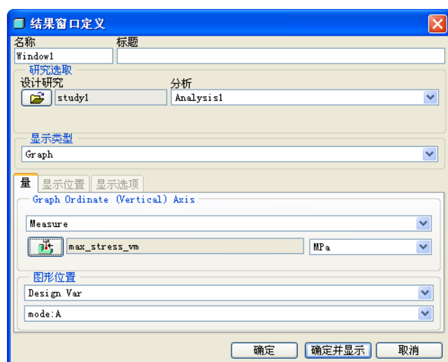


图 6.23　“结果窗口定义”对话框

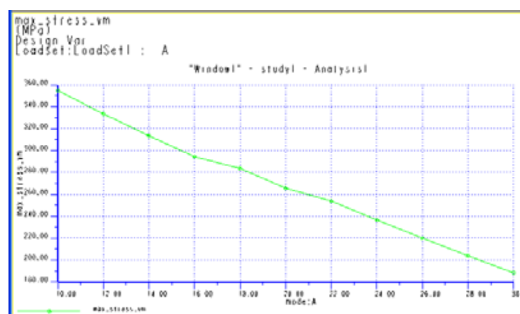


图 6.24　最大应力与角度曲线

（5）选择菜单栏中的【文件（F）】→【退出结果（X）】命令，系统弹出“消息”对话框，询问是否保存当前结果窗口，单击【否（N）】按钮，返回到“分析和设计研究”对话框。

（6）在列表框中，选中“study1”选项，选择菜单栏中的【编辑（E）】→【分析和研究】命令，系统弹出“敏感度研究定义”对话框。

（7）单击对话框中【变量】选项组右下角【选项】按钮，系统弹出“设计研究选项”对话框，如图 6.25 所示，勾选【重复 P 环收敛】和【每次形状更新后进行网格重划】复选框。

（8）单击【模型动画造型】按钮，系统弹出“消息输入窗口”对话框，如图 6.26 所示，在文本框中输入 Y，单击【接受值】按钮。

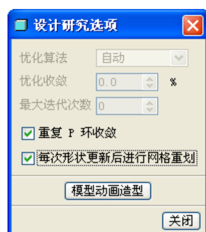


图 6.25　“设计研究选项”对话框

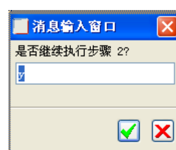


图 6.26　“消息输入窗口”对话框

（9）系统弹出“问题”对话框，如图 6.27 所示，询问是否将模型恢复为原始形状，单击【否（N）】按钮，模型变成如图 6.28 所示。

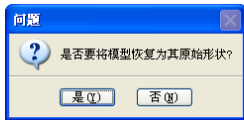


图 6.27 “问题”对话框

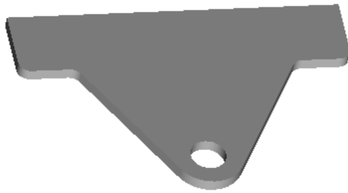


图 6.28 优化后的模型

6.2 结构分析工作台

进入零件设计平台或组装设计平台，选择【应用程序（P）】→【Mechanica】命令，系统弹出“模型设置”对话框，完成所需设置，单击【确定】按钮，就进入结构设计平台，如图 6.29 所示，使用该模块中的菜单栏、工具栏和模型树就能够完成零件或组件的结构分析。

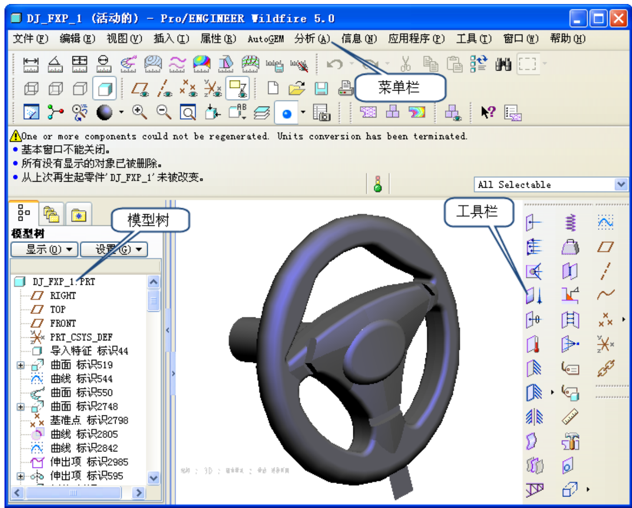


图 6.29 结构分析工作台

6.3 菜单栏

6.3.1 “文件”菜单

【文件（F）】菜单包含很多工具命令。在第 2 章中详细介绍了大部分命令的使用方法，这里仅介绍与本章有关的前面没有介绍的两个命令：新建模拟模型（I）和独立

Mechanica（M），如图 6.30 所示。

❑ 【新建模拟模型（I）】命令是将使用结构分析模块中的命令创建的分析元素对象移除，恢复到初始状态，如图 6.31 所示为使用该命令前后模型树的变化。

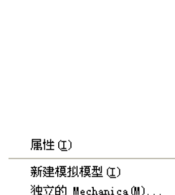


图 6.30　【文件（F）】菜单



图 6.31　命令使用前后

❑ 【独立 Mechanica（M）】命令是从当前集成模式或 FEM 模式切换到独立模式。

6.3.2　“编辑”菜单

【编辑（E）】菜单包含工具命令最多的菜单，它随进入的模块和选择的对象不同而可用的命令也不同。下面介绍在结构分析模块下使用的两个命令：Mechanica 模型设置、将模拟值转换为主值，如图 6.32 所示。

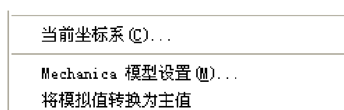


图 6.32　部分【编辑（E）】菜单

1．Mechanica 模型设置

选择【编辑（E）】→【 Mechanica 模型设置】命令，系统弹出“模型设置”对话框，使用该对话框可以在结构分析、有限元分析、热力学分析等模式之间转换。具体使用方法参见 6.1.1 小节。

2．将模拟值转换为主值

选择【编辑（E）】→【将模拟值转换为主值】命令，可以将所有的模拟值转换为模型的主单位制。

6.3.3　“插入”菜单

【插入（I）】菜单，如图 6.33 所示，是结构分析模块中命令最多的一个菜单栏，它包含了创建载荷、约束、理想化模型、连接、几何元素等命令集合。该菜单中命令是本章中重点介绍内容。

6.3.4 “属性”菜单

【属性（R）】菜单，如图 6.34 所示，是创建、修改模型中材料、载荷、约束、理想化模型的属性。材料、载荷、约束、理想化模型是结构分析最要的几个环节。

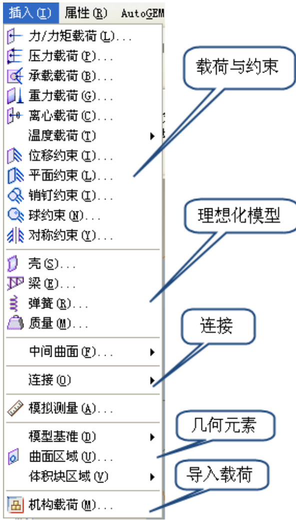


图 6.33 【插入（I）】菜单

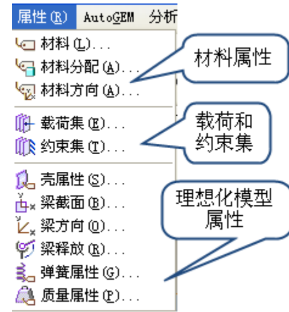


图 6.34 【属性（R）】菜单

6.3.5 “AutoGEM”菜单

【AutoGEM】菜单，如图 6.35 所示，是应用创建 AutoGEM 控制、创建 P 网格、设置几何公差等命令集合。



图 6.35 【AutoGEM】菜单

6.3.6 “分析”菜单

【分析（A）】菜单是分析命令和分析结果浏览命令的集合。下面简单介绍 Mechanica 分析/研究（E）、结果（R）两个命令，如图 6.36 所示。

- ❑ 【Mechanica 分析/研究（E）】命令，是将创建好的结构分析模型进行结构分析

的 。

❑ 【结果（R）】命令，是查看已经分析后保存的结构分析结果。

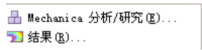


图 6.36　部分【分析（A）】菜单

6.4　工具栏

工具栏是命令快捷方式的集合。Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 为结构分析模块提供了 3 个工具栏：

❑ 【Mechanica 对象】工具栏，如图 6.37 所示，包含了所有结构分析模块中创建模型的工具，如载荷工具、理想化工具、约束工具、体积等。

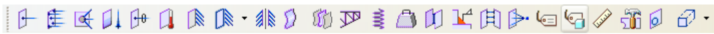


图 6.37 【Mechanica 对象】工具栏

❑ 【Mechanica 操作】工具栏，如图 6.38 所示，包含创建（用于创建 P 网格）、Mechanica 分析/研究、结果 3 个工具。

❑ 【模型显示】工具栏，如图 6.39 所示，该工具栏只包含一个模型显示工具。



图 6.38　【Mechanica 操作】工具栏



图 6.39　【模型显示】工具栏

第 7 章　建立结构分析模型



内容导航

结构分析模型的创建是结构分析的前提。模型的建立直接影响到分析结果，模型的创建与实际情况越接近，分析结果就越准确。本章将对结构分析建模工具进行详细介绍。主要内容是模型的简化、载荷的创建、理想化模型、分配材料等。

7.1　简化模型

简化模型是指隐含与分析无关的特征或几何。这样可以加快 Mechanica 分析的运行速度；也可以从零件中省略设计多余部分，就会减少影响其他参数的约束；如果开始就画简化零件，还可以以分析结构来指导如何创建该模型的其他部分。在零件的不同设计阶段，被简化的设计也有很多好处。在零件的初期设计阶段，即使没有一个被修改充分的零件或组件，也可以进行可行性研究；当完成一个零件的有限元模型，或者几个关键点仍然未定，可以变化零件的整个造型区域，不需要等到未画区域完成后再变化，也可以使用分析结果来引导设计未完成的区域；对于一个完整零件的分析，可以减少零件或组件在有限元表示方面的复杂度。对于零件和组件可以采用以下方法进行简化：

❑ 在模型树下将不需要的特征隐含起来。

❑ 利用图层功能将隐含起来的特征和要分析的特征分图层存放，先隐藏前者所在图层，然后利用 Mechanica 进行分析，分析完成后再将隐藏部分恢复。

❑ 直接画一个可仿真分析的简单模型作分析，完成后再将分析结果应用到正式的零件或组件上。

❑ 再简化时，以梁或薄壳来代替实体，可减少模型尺寸、磁盘空间、内存及分析时间。

❑ 使用 CUT 特征去除模型里对分析不恰当的部分。

7.2　创建载荷

载荷（Load）就是一种施加到整个或部分结构的力、压力、速度、加速度或力矩。

为了使 Pro/Mechanica 能够顺利运行大多数类型的分析，就必须至少在模型的一个区域上加上载荷。Pro/Mechanica 本身提供广泛而多样的载荷类型。根据实际物体的受力情况，对模型添加力/力矩载荷、压力载荷、承载载荷、重力载荷、离心载荷、全局温度载荷等影响模型结构的载荷因素。

7.2.1　创建载荷集

【载荷集】命令，是对模型所添加的载荷进行分类管理的命令，使用命令创建的载荷集被添加到模型结构树中，如图 7.1 所示。

选择菜单栏中的【属性（R)】→【载荷集（E)】命令，系统弹出“载荷集属性”对话框，如图 7.2 所示。

（1）【列表框】用于显示当前模型存在的载荷集。

（2）【新建】按钮用于新建一个新的载荷集到当前模型中。单击该按钮，系统弹出“载荷集定义”对话框，如图 7.3 所示。

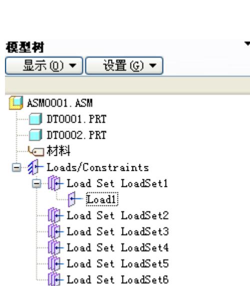


图 7.1　模型树



图 7.2　“载荷集属性”对话框

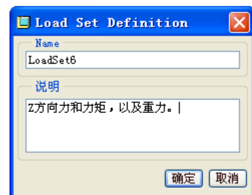


图 7.3　“载荷集定义”对话框

- 【Name（名称）】文本框用于定义新建载荷集的名称，系统默认为 LoadSet＋数字。
- 【说明】文本框用于定义当前新建载荷集的说明，可以使用简单的语句介绍新建载荷集的特征，如：Z 方向力和力矩，以及重力。

（3）【副本】按钮用于复制当前在列表框中选中且高亮显示的载荷集。在列表框中选中一个载荷集，单击该按钮，一个复制的新的载荷集就创建完成。

（4）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的载荷集进行编辑，单击该按钮，系统弹出“载荷集定义”对话框，如图 7.3 所示，在这里可以重新定义选定的载荷集的名称和说明。

（5）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的载荷集进行移除。在列表框中选中欲移除的载荷集，单击该按钮，被选中的载荷集就移除出当前模型。

（6）【说明】文本框用于显示当前选中的载荷集的说明信息。

7.2.2　创建力/力矩载荷

【力/力矩载荷】工具，是在模型中添加力、力矩的工具。单击该工具按钮，系统弹出“力/力矩载荷”对话框，如图 7.4 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建载力/力矩载荷的名称，系统默认为 Load＋数字。单击其后【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，如图 7.5 所示。



图 7.4　“力/力矩载荷”对话框

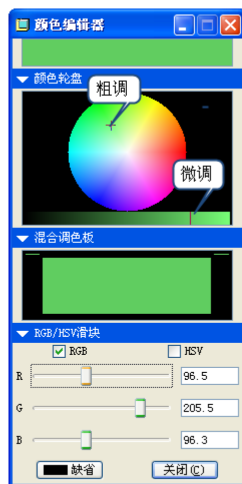


图 7.5　“颜色编辑器”对话框

- 【颜色轮盘】选项卡用于调节模型中力/力矩的显示颜色。在圆中单击，使十字光标落在所需颜色区域，然后拖动微调轮进行调节，直到顶部颜色预览区显示的颜色合适为止。
- 【混合调色板】选项卡用于调节混合颜色的背景颜色。单击选项卡中的长方形框，则此时的颜色就作为混合颜色的背景颜色，否则，该颜色随着【颜色轮盘】或【RGB/HSV 滑块】选项中调色变化而变化。
- 【RGB/HSV 滑块】选项卡使用 RGB/HSV 进行调节颜色，可以勾选【RGB】、【HSV】复选框，在下方相应的滑块或数字中进行调节颜色。
- 【缺省】按钮用于设置模型中载荷的显示颜色为默认值。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的力/力矩载荷是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所属的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集。

（3）【参照】选项组用于定义力/力矩载荷加载在模型中的位置。该选项组的具体使用方法如下：

- 在下拉列表框中选择载荷加载对象：Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）。
- 根据选择 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的不同，其下

方的选项也不同，如图 7.6 所示，在相应的选项下选择所选择对象的属性。各单选按钮表示的意思如下所述：【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；【Single】单选按钮选择表示单个点；【Feature】单选按钮表示选择点特征；【Pattern】单选按钮表示选择点模型。

- ❑ 根据前两步选择的组合选项在 3D 模型中选择相应的几何元素，该几何元素就添加到列表框中。如果欲选择曲面，单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，如图 7.7 所示，在该对话框中可以完成曲面集的定义。

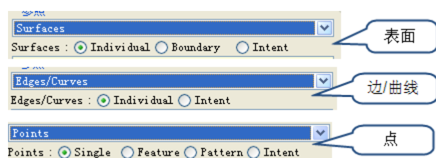


图 7.6　点线面选项

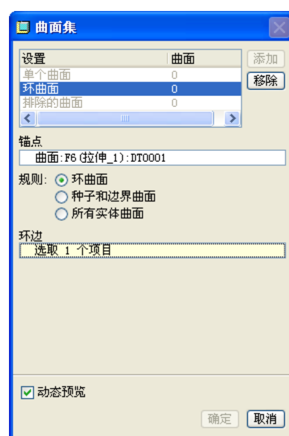


图 7.7　“曲面集”对话框

（4）【属性】选项组用于定义施加在模型上的力/力矩的参照坐标系。该选项组的使用方法如下：

- ❑ 点选【World（系统全局）】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS；
- ❑ 点选【Selected（选择自定义）】单选按钮，选择系统坐标系作为载荷参照对象；
- ❑ 单击【Advanced（高级）】按钮，系统展开【分布】和【Spatial Variation（空间变异）】选项组，在【分布】选项组中选择“Total Load（总负荷）”、“Force Per Unit Area（单位面积受力）”、“Total Load at Point（点受力）”3 种受力情况；在【Spatial Variation（空间变异）】选项组中选择“Uniform（统一）”、“Function Of Coordinate（函数坐标）”、“Interpolated Over Entity（实体上插值）”3 种空间受力情况。

（5）【力】选项组用于定义施加在模型上的外力和力矩，可以同时对模型施加力和力矩。在【力】或【力矩】下拉列表框中选择施加力/力矩的方法：分量、方向向量和大小、方向点和大小 3 种，如图 7.8 所示。

- ❑ “分量”是在模型上施加力、力矩在 X、Y、Z 轴上的分量，然后系统自动根据输入的大小进行计算，生成合适的力/力矩。
- ❑ “方向向量和大小”是通过在 X、Y、Z 设置方向向量，在【Mag】文本框中输

入力/力矩的大小。

❑ “方向点和大小”是通过点对点定义力/力矩的方向，在【Mag】文本框中输入力/力矩的大小。

❑ 在【力】、【力矩】选项组中最下方是单位选项，通过下拉列表框选择施加力/力矩的单位。

下面以如图 7.9 所示的钢板受力情况为例，讲解【力/力矩载荷】工具的使用方法，具体操作步骤如下：

要求：在钢板中心施加 1000N 的力载荷，在右侧上边缘施加 100N·m 的力矩载荷，在前侧面施加 100N 的力载荷。

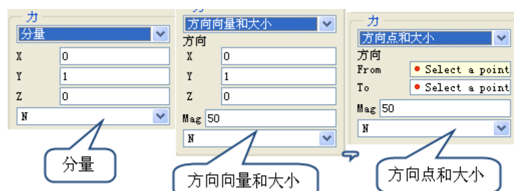


图 7.8 选项

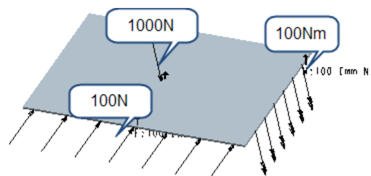


图 7.9 钢板受力

（1）选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建（N)】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 a，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项“对话框中列表框中，选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图“对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制 500×300 矩形，如图 7.10 所示，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 5，如图 7.11 所示，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

（5）选择【应用程序】→【Mechanica】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）选择【属性（R)】→【载荷集（E)】命令，系统弹出“载荷集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，Loadset1 载荷集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成载荷集的创建。

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【力/力矩载荷（L)】命令，系统弹出“力/力矩载荷定义”对话框。

（8）在【参考】下拉列表框中选择“Points”选项，然后在 3D 模型中部点击一点，

确定载荷施加点，在【力】选项组中【X】文本框中键入 1000，在其下方下拉列表框中选择“N”选项，单击【确定】按钮，力载荷创建完成，效果如图 7.12 所示。

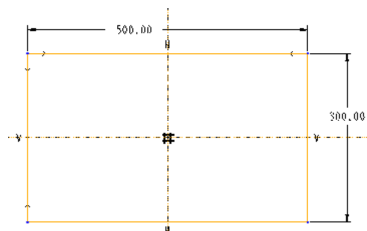


图 7.10　矩形

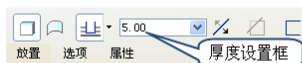


图 7.11　厚度设置



图 7.12　1000N 力载荷

（9）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩载荷（L）】命令，系统弹出“力/力矩载荷定义”对话框。

（10）在【参考】下拉列表框中选择“Edges/curves”选项，然后在 3D 模型中选择右侧上边线，确定载荷施加曲线，在【力矩】选项组中【X】文本框中键入 100，在其下方下拉列表框中选择“mN”选项，单击【确定】按钮，力矩载荷创建完成，效果如图 7.13 所示。

（11）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩载荷（L）】命令，系统弹出“力/力矩载荷定义”对话框。

（12）在【参考】下拉列表框中选择“Surfaces”选项，然后在 3D 模型中选择前侧面，确定载荷施加曲面，在【力】选项组中【Z】文本框中键入 100，在其下方下拉列表框中选择“N”选项，单击【确定】按钮，力载荷创建完成，效果如图 7.14 所示。

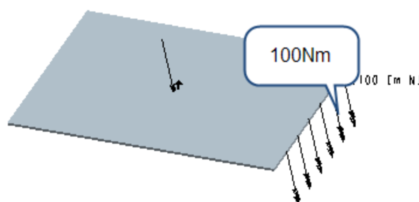


图 7.13　施加 100Nm 力矩载荷

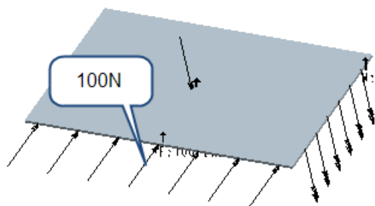


图 7.14　施加 100N 平面载荷

7.2.3　创建压力载荷

【压力载荷】工具，是对模型中平面施加压力载荷的工具。单击该工具按钮，系统弹出“压力载荷”对话框，如图 7.15 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建压力载荷的名称，系统默认为 Load＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在对话框中定义压力载荷在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的压力是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所需的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集，单击该按钮，系统弹出“载荷属性”对话框，在对话框中设计新载荷集的名称和说明。

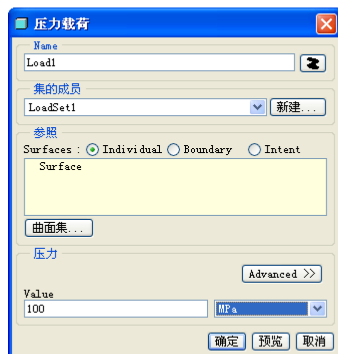


图 7.15　“压力载荷”对话框

（3）【参照】选项组用于定义压力载荷加载在模型中的位置。在【Surfaces】选项组中点选【Individual】单选按钮表示在 3D 模型中选择单个 Surfaces（表面）；点选【Boundary】单选按钮表示在 3D 模型中选择边界表面，即整个模型表面；点选【Intent】单选按钮表示在 3D 模型中选择多个 Surfaces（表面）；单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框在该对话框中可以完成曲面集的定义。

（4）【压力】选项组用于定义施加的压力方法和种类。

- 单击【Advanced（高级）】按钮，系统展开【Spatial Variation（空间变异）】选项组，在【Spatial Variation（空间变异）】选项组中选择“Uniform”选项表示施加压力载荷均匀分布在表面上；选择“Function Of Coordinate（函数坐标）”选项表示施加的压力载荷按照函数关系式分布在表面上；选择“Interpolated Over Entity（插值点）”选项表示施加压力载荷按照插值点数进行分布；选择“External Coefficients Field（外部系数）”选项表示使用外部数据 fnf 格式文件进行压力载荷分布。
- 【Value】选项组定义施加压力载荷的数值。在文本框中键入数值大小，在其后的下拉列表框中选择数值的单位。

下面以如图 7.16 所示轴承座为例，讲解【压力载荷】工具的使用方法。

要求：在上表面施加 100MPa 的均匀载荷，在左侧施加按照函数 $f(\chi)=\chi^2$ 分布的 100MPa 压力载荷，在右侧施加插值点分布的 100MPa 压力载荷。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 b，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中列表框中选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 7.17 所示草图轮廓，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 50，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

（5）单击“工程特征”工具栏上的【倒角】工具按钮，在控制面板中设置倒角为 5×5，在 3D 模型中选择上表面 4 条边，单击【完成】按钮，完成模型的倒角。

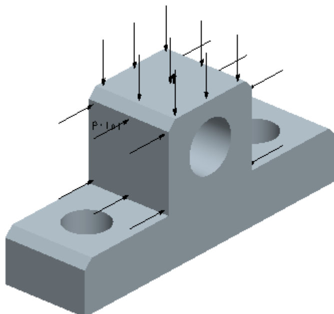


图 7.16　轴承座

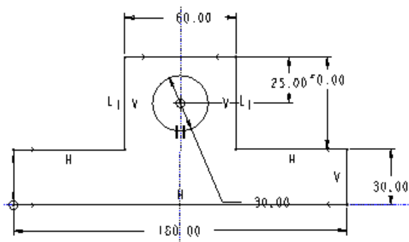


图 7.17　草图轮廓

（6）单击“工程特征”工具栏上的【孔】工具按钮，在 3D 模型中选择模型上表面，设置到前表面和侧面的距离为 25、30，圆直径为 25，如图 7.18 所示，单击【完成】按钮，完成孔特征的创建，同样在另一侧创建孔。

（7）选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（8）选择【属性（R）】→【载荷集（E）】命令，系统弹出“载荷集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，Loadset1 载荷集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成载荷集的创建。

（9）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【压力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【压力载荷（P）】命令，系统弹出“力/力矩载荷定义”对话框。

（10）点选【Surfaces】选项组中【Individual】单选按钮，在 3D 模型中选择上表面，在【Value（数值）】文本框中键入 100，在其后的下拉列表框中选择“MPa”选项，单击【预览】按钮，效果如图 7.19 所示，然后单击【确定】按钮，完成压力载荷创建。

（11）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【压力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【压力载荷（P）】命令，系统弹出“力/力矩载荷定义”对话框。

（12）点选【Surfaces】选项组中【Individual】单选按钮，在 3D 模型中选择左侧表面，在【Value（数值）】文本框中键入 100，在其后的下拉列表框中选择“MPa”选项；

（13）单击【Advanced（高级）】按钮，系统展开【Spatial Variation（空间变异）】选项组，在【Spatial Variation（空间变异）】选项组中选择“Function Of Coordinate（函

数坐标）”选项，单击【 $f(x)$ 】按钮，系统弹出“函数”对话框，如图 7.20 所示。

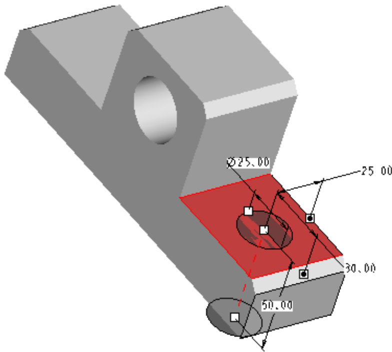


图 7.18 孔参数

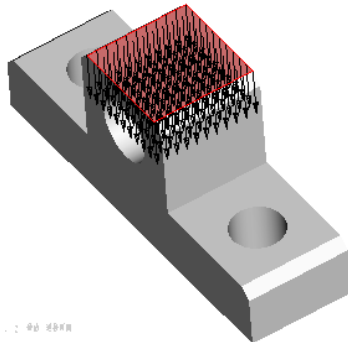


图 7.19 创建的压力载荷

（14）在“函数”对话框中，单击【新建】按钮，系统弹出“函数定义”对话框，如图 7.21 所示。



图 7.20 “函数”对话框

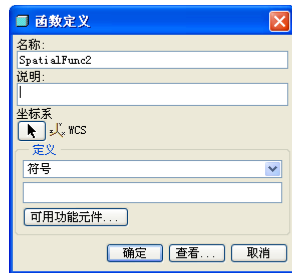


图 7.21 “函数定义”对话框

（15）在“函数定义”对话框中，单击【可用功能元件】按钮，系统弹出“符号选项”对话框，如图 7.22 所示，选中【函数】列表框中“sqrt(x)”选项，单击【关闭】按钮，返回“函数定义”对话框，单击【查看】按钮，系统弹出“图形函数”对话框。

（16）在“图形函数”对话框中【下限】文本框中键入 0.01，【上限】文本框中键入 100，单击【图形】按钮，系统弹出图形工具窗口，函数图形如图 7.23 所示。

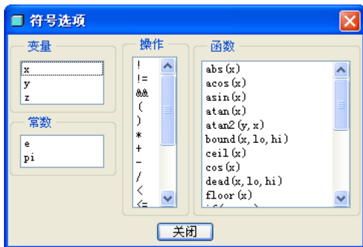


图 7.22 “符号选项”对话框

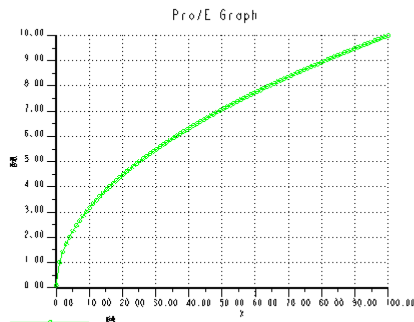


图 7.23 函数图形

（17）关掉图形工具窗口，在“图形函数”对话框中，单击【完成】按钮，返回“函

数定义”对话框，单击【确定】按钮，返回“函数”对话框，单击【确定】按钮，返回“压力载荷”对话框，单击【预览】按钮，效果如图 7.24 所示，单击【确定】按钮，完成压力载荷创建。

（18）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【压力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【压力载荷（P）】命令，系统弹出“力/力矩载荷定义”对话框。

（19）点选【Surfaces】选项组中【Individual】单选按钮，在 3D 模型中选择右侧表面，在【Value（数值）】文本框中键入 100，在其后的下拉列表框中选择“MPa”选项。

（20）单击【Advanced（高级）】按钮，系统展开【Spatial Variation（空间变异）】选项组，在【Spatial Variation（空间变异）】选项组中选择“Interpolated Over Entity（插值点）”选项，单击【定义】按钮，系统弹出“在整个图元上插值”对话框，如图 7.25 所示。

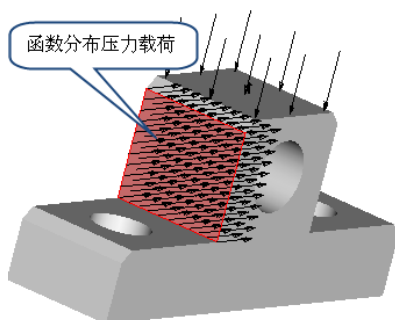


图 7.24　函数分布压力载荷

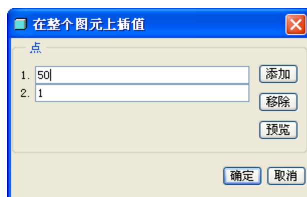


图 7.25　在整个图元上插值

（21）在“整个图元上插值”对话框中，单击【添加】按钮，系统弹出菜单管理器，如图 7.26 所示，选择【创建】工具按钮，系统弹出“基准点”对话框，如图 7.27 所示。

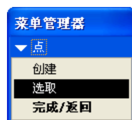


图 7.26　菜单管理器

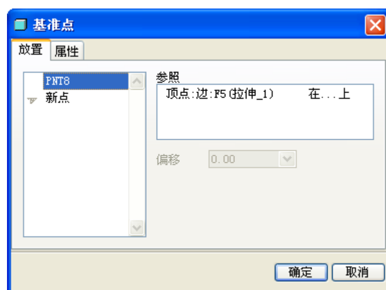


图 7.27　“基准点”对话框

（22）在 3D 模型中，选择一点作为插值基准点，如图 7.28 所示，单击【确定】按钮，完成插值点 1 的创建，在使用【创建】工具按钮创建第二个插值点，在【1】文本框中键入 50，在【2】文本框中键入 1。

（23）在菜单管理器中，单击【完成/返回】工具按钮，返回“压力载荷”对话框，单击【预览】按钮，效果如图 7.29 所示，然后单击【确定】按钮，完成压力载荷创建。

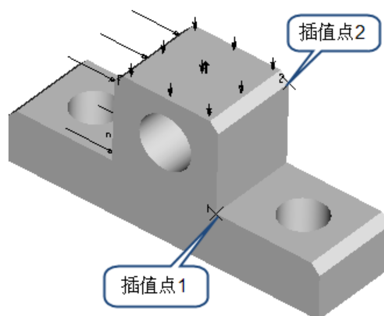


图 7.28　插值点

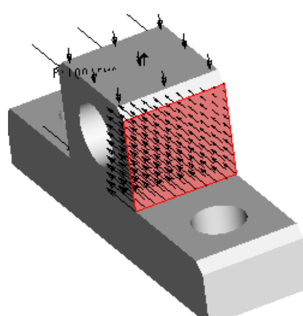


图 7.29　插值点压力载荷

7.2.4　创建承载载荷

【承载载荷】工具，是对模型的曲面和曲线施加力载荷的工具。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【承载载荷（B）】命令，系统弹出“承载载荷”对话框，如图 7.30 所示。

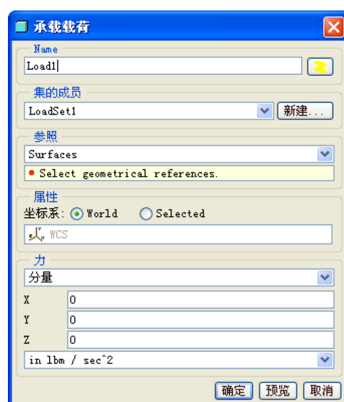


图 7.30　“承载载荷”对话框

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建载力载荷的名称，系统默认为 Load＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在对话框中定义力载荷在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的力载荷是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所需的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集，单击该按钮，系统弹出“载荷属性”对话框，在对话框中设计新载荷集的名称和说明。

（3）【参照】选项组用于定义力载荷加载在模型中的位置，具体使用方法如下：


注意

这里只能在 3D 模型中选择曲面和曲线，不支持平面和直线。

- 在下拉列表框中选择“Surfaces”选项，然后在 3D 模型中选择曲面几何元素。
- 在下拉列表框中选择“Edges/Curves”选项，然后在 3D 模型中选择曲线或边界曲线。

（4）【属性】选项组用于定义施加在模型上的力的参照坐标系。该选项组的使用方法如下：

- 点选【World(系统全局)】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS。
- 点选【Selected（选择自定义）】单选按钮，选择系统坐标系作为载荷参照对象。

（5）【力】选项组用于定义施加在模型上的载荷力。在【力】下拉列表框中选择施加力的方法：分量、方向向量和大小、方向点和大小 3 种。

- “分量”是在模型上施加承载载荷在 X、Y、Z 轴上的分量，然后系统自动根据输入的大小进行计算，生成所需的承载载荷。
- “方向向量和大小”是通过在 X、Y、Z 设置方向向量，在【Mag】文本框中输入承载载荷的大小。
- “方向点和大小”是通过点对点定义承载载荷的方向，在【Mag】文本框中输入承载载荷的大小。
- 在【力】选项组中最下方是单位选项，通过下拉列表框选择施加承载载荷的单位。

下面以一个圆柱体为例，讲解【承载载荷】工具的使用方法。

要求：对圆柱体一侧面面施加 100N 向心力，在上边缘施加向外 50N 的拉力。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 c，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框列表框中选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 7.31 所示草图轮廓，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 30，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计，效果如图 7.32 所示。

（5）选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）选择【属性（R）】→【载荷集（E）】命令，系统弹出“载荷集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，Loadset1 载荷集就添加到列

表框中，然后单击【关闭】按钮，完成载荷集的创建。

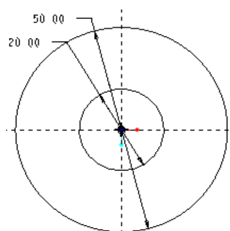
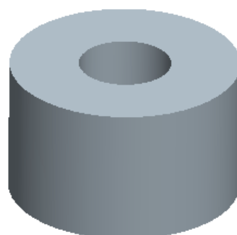


图 7.31　草图

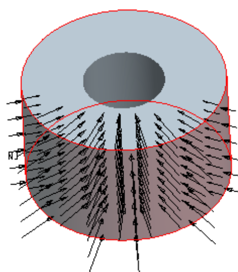

图 7.32　圆柱体

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【承载载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【承载载荷（B）】命令，系统弹出“承载载荷定义”对话框。

（8）在对话框中，选择【参照】下拉菜单中“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择圆柱表面，在【力】选项组中【X】文本框中键入 100，在其下方的下拉列表框中选择“N”选项，单击【预览】按钮，效果如图 7.33 所示，然后单击【确定】按钮，完成曲面承载载荷的创建。

（9）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【承载载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【承载载荷（B）】命令，系统弹出“承载载荷定义”对话框。

（10）在对话框中，选择【参照】下拉菜单中“Edges/Curves”选项，在 3D 模型中选择圆柱上边线，在【力】选项组中【Z】文本框中键入 50，在其下方的下拉列表框中选择“N”选项，单击【预览】按钮，效果如图 7.34 所示，然后单击【确定】按钮，完成曲线承载载荷的创建。


图 7.33　曲面承载载荷

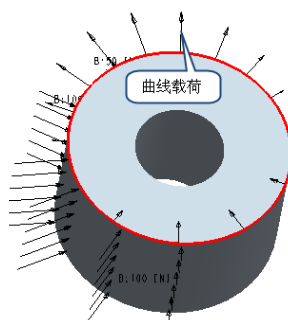


图 7.34　曲线载荷

7.2.5　创建重力载荷

【重力载荷】工具，是对模型施加重力载荷，即重力加速度。根据自然规律，只要是在地球上，每个物体都受重力载荷的影响。但是对于大多数模型，相对其他施加的载荷，这个载荷可以忽略。不过，基于某种特殊的原因，仍然需要施加重力载荷到模型上。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【重力载荷（G）】命令，系统

弹出“重力载荷”对话框，如图 7.35 所示。



图 7.35　“重力载荷”对话框



注意

标准重力为 9.81m/s^2=9810mm/s^2。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建载力载荷的名称，系统默认为 Load＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在对话框中定义力载荷在模型中显示的颜色；

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的力载荷是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所需的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集，单击该按钮，系统弹出“载荷属性”对话框，在对话框中设计新载荷集的名称和说明。

（3）【坐标系】选项组用于定义施加在模型上的力的参照坐标系。点选【World（系统全局）】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS；点选【Selected（选择自定义）】单选按钮，选择系统坐标系作为载荷参照对象。

（4）【加速度】选项组用于定义施加在模型上的重力载荷。在下拉列表框中选择施加力的方法：分量、方向向量和大小、方向点和大小 3 种。

- ❑ “分量”是在模型上施加重力在 X、Y、Z 轴上的分量，然后系统自动根据输入的大小进行计算，生成所需重力载荷。
- ❑ “方向向量和大小”是通过在 X、Y、Z 设置方向向量，在【Mag】文本框中输入重力的大小。
- ❑ “方向点和大小”是通过点对点定义重力的方向，在【Mag】文本框中输入重力的大小。
- ❑ 在【力】选项组中最下方是单位选项，通过下拉列表框选择施加重力的单位。

下面以上例中的圆柱体为例，讲解【重力载荷】工具的使用方法。

（1）打开模型 c.prt，选择【应用程序（P）】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，

单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【重力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【重力载荷（G)】命令，系统弹出“重力载荷定义”对话框。

（3）在【加速度】选项组中【Y】文本框中键入 9.81，在其下方的下拉列表框中选择“mm/sec2”，单击【确定】按钮，完成重力载荷的创建，效果如图 7.36 所示。

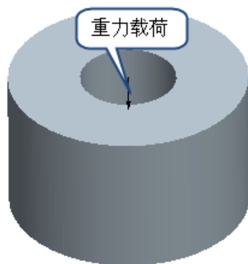


图 7.36　重力载荷

7.2.6　创建离心载荷

【离心载荷】工具，是通过对模式设计角速度、角加速度，使模型产生一个离心载荷的工具。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【离心载荷（C)】命令，系统弹出“离心载荷”对话框，如图 7.37 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建载力载荷的名称，系统默认为 Load＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在对话框中定义力载荷在模型中显示的颜色；

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的力载荷是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所需的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集，单击该按钮，系统弹出“载荷属性”对话框，在对话框中设计新载荷集的名称和说明。

（3）【旋转原点和坐标系】选项组用于定义施加在模型上的力的参照坐标系。点选【World（系统全局)】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS；点选【Selected（选择自定义)】单选按钮，选择系统坐标系作为载荷参照对象。

（4）【角速度】选项组用于定义施加在模型上的角速度方向和大小。在下拉列表框中选择施加力的方法：

- “分量”是在模型上施加角速度在 X、Y、Z 轴上的分量，然后系统自动根据输入的大小进行计算，生成所需的角速度。
- “方向向量和大小”是通过在 X、Y、Z 设置方向向量，在【Mag】文本框中输入角速度的大小。
- “方向点和大小”是通过点对点定义角速度的方向，在【Mag】文本框中输入角

速度的大小。

- ❑ 在其下方文本框中显示角速度单位 rad/sec。

（5）【角加速度】选项组用于定义施加在模型上的角加速度方向和大小。在下拉列表框中选择施加力的方法：

- ❑ “分量”是在模型上施加角速度在 X、Y、Z 轴上的分量，然后系统自动根据输入的大小进行计算，生成所需的角加速度。
- ❑ “方向向量和大小”是通过在 X、Y、Z 设置方向向量，在【Mag】文本框中输入角加速度的大小。
- ❑ “方向点和大小”是通过点对点定义角加速度的方向，在【Mag】文本框中输入角加速度的大小。
- ❑ 在其下方文本框中显示角速度单位 rad/sec2。

下面以一个球体为例，讲解【离心载荷】工具的使用方法。

要求：在 Y 轴方向施加 1000rad/sec 的角速度，在 X 轴方向施加 80rad/sec2 的角加速度。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 d，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框列表框中，选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【旋转】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。



图 7.37　“离心载荷”对话框

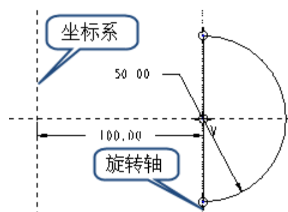


图 7.38　草图轮廓



图 7.39　球体

（4）绘制如图 7.38 所示草图轮廓，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，

在控制面板中厚度设置框中键入 360，单击其后的【完成】按钮✓，完成模型的设计，效果如图 7.39 所示。

（5）选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）选择【属性（R）】→【载荷集（E）】命令，系统弹出“载荷集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，Loadset1 载荷集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成载荷集的创建。

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【离心载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【离心载荷（C）】命令，系统弹出“承载载荷定义”对话框。

（8）在【角速度】选项组中【Y】文本框中键入 1000，其下文本框显示单位 rad/sec。

（9）在【角速度】选项组中【X】文本框中键入 80，其下文本框显示单位 rad/sec2。

（10）单击【确定】按钮，完成离心载荷的创建，效果如图 7.40 所示。

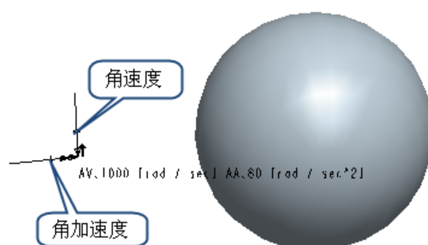


图 7.40　施加的离心载荷

7.2.7　创建温度载荷

【全局温度载荷】工具，是对全局模型指定温度变化时，可以添加上全局温度载荷。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【温度载荷（T）】→【全局（G）】命令，系统弹出“全局温度载荷”对话框，如图 7.41 所示。



图 7.41　“全局温度载荷”对话框

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建载力载荷的名称，系统默认为 Load＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在对话框中定义

力载荷在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的力载荷是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所需的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集，单击该按钮，系统弹出“载荷属性”对话框，在对话框中设置新载荷集的名称和说明。

（3）【模型温度】选项组用于设置模型温度。在文本框中键入温度，在其后的下拉列表框中选择温度单位。

（4）【参照温度】选项组用于设置模型零应力下的温度，即不考虑室温和常温的温度。在文本框中键入温度，在其后的下拉列表框中选择温度单位。

下面以前面讲解过的例子为例，讲解【全局温度载荷】工具的使用方法。

（1）打开模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【全局温度载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【温度载荷（T）】→【全局（G）】命令，系统弹出“全局温度载荷”对话框。

（3）在【模型温度】文本框中键入 40，在其后下拉列表框中选择“C”选项。

（4）在【参照温度】文本框中键入 18，在其后下拉列表框中选择“C”选项。

（5）单击【确定】按钮，完成全局温度载荷的创建，效果如图 7.42 所示。

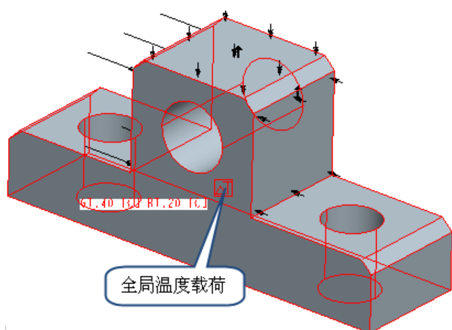


图 7.42　创建的全局温度载荷

7.3　创建约束

约束和载荷一样都是在 Pro/Mechanica 里用来仿真实物的重要依据；而且是建立在分析和敏感研究的基础上。Pro/Mechanica 将使用这些信息进行仿真模型的行为，所定义的约束和载荷，将影响到分析的结果。为了能够顺利运行多数类型的分析，必须至少约束模型的一个区域。“约束”是针对实际的情况，对结构的点、线、面的自由度进行约束。对模型增加约束之前，必须保证以下几何和参照存在。

1．坐标系

每一个约束都需要相对一个固定的坐标系，如果不想使用系统默认的系统全局坐标系（WCS），那么也可以自己定义坐标系，且让坐标系变成当前的坐标系，可以使用以下 3 种坐标系：

- ❑ 笛卡尔坐标（Cartesian）
- ❑ 圆柱坐标（Cylindrical）
- ❑ 球坐标（Spherical）

2．基准点

如果在曲线或表面上约束一个特定点，那么就要在那个位置包含一个基准点约束。

3．区域

如果约束曲面区域，那么模型就需要包含定义该区域的基准曲线轮廓。

在为一结构模型定义约束时，目的是要固定部分零件的几何，使零件不能移动，或只能以预定的方式移动。Pro/Mechanica 会假设零件任何未约束的部分，都会按模型可利用的所有方向自由移动。

7.3.1　创建约束集

【约束集】命令，是对模型所创建的约束进行分类的命令，使用该工具命令创建的约束集就被添加到模型结构树中。

选择菜单栏中的【属性（R)】→【约束集（T)】命令，系统弹出“约束集属性”对话框，如图 7.43 所示。

（1）【列表框】用于显示当前模型存在的约束集。

（2）【新建】按钮用于新建一个新的约束集到当前模型中。单击该按钮，系统弹出“约束集定义”对话框，如图 7.44 所示，该对话框的内容如下所述：

❑ 【Name（名称）】文本框用于定义新建约束集的名称，系统默认为 ConstraintSet＋数字。

❑ 【说明】文本框用于定义当前新建约束集的说明，可以使用简单的语句介绍清楚该约束集的特征，如：点约束，面约束等。

（3）【副本】按钮用于复制当前选中且高亮显示的约束集。在列表框中选中一个约束集，单击该按钮，一个复制的新的约束集就创建完成。

（4）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的约束集进行编辑，单击该按钮，系统弹出“约束集定义”对话框，如图 7.44 所示，在这里可以重新定义选定的约束集的名称和说明。

（5）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的约束集进行移除。在列表框中选中欲移

除的约束集，单击该按钮，被选中的约束集就移除出当前模型。

（6）【说明】文本框用于显示当前选中的约束集的说明信息。



图 7.43　“约束集属性”对话框

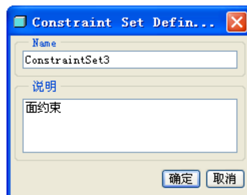


图 7.44　“约束集定义”对话框

7.3.2　创建位移约束

【位移约束】工具，是对模型中点、线、面进行约束的工具。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“约束”对话框，如图 7.45 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建位移约束的名称，系统默认为 Constraint＋数字，也可以自定义。

（2）【集的成员】选项组用于定义新建位移约束属于哪个约束集，在其下拉列表框中选择所属约束集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的约束集，在系统弹出的“约束属性”对话框中设置新约束集的名称和说明。

（3）【参照】选项组用于定义位移约束的对象，可以是点、线、面，该选项组的具体使用方法如下：

- ❑ 在下拉列表框中选择位移约束对象：Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）。
- ❑ 根据选择 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的不同，其下方的选项也不同，如图 7.46 所示，在相应的选项下选择所选择对象的属性。各单选按钮表示的意思如下所述：【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集和；【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；【Single】单选按钮选择表示单个点；【Feature】单选按钮表示选择点特征；【Pattern】单选按钮表示选择点模型。
- ❑ 根据前两步选择的组合选项在 3D 模型中选择相应的几何元素，该几何元素就添加到列表框中。如果欲选择曲面，单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，在该对话框中可以完成曲面集的定义。

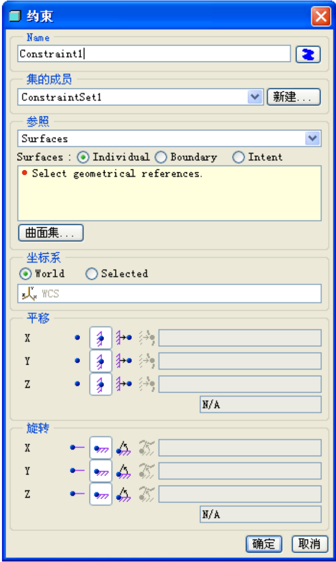


图 7.45 “约束”对话框

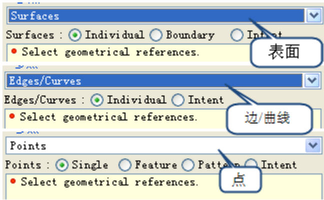


图 7.46 点、线、面选项

（4）【坐标系】选项组用于定义约束参照坐标系，可以使用 World（系统全局），也可以使用 Selected（选择自定义）。

点选【World（系统全局）】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS。

点选【Selected（选择自定义）】单选按钮，选择系统坐标系作为约束参照对象。

（5）【平移】选项组用于定义所选择的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴的平移约束。选中【自由】按钮，表示所选取的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴自由平移；选中【固定】按钮，表示所选取的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴平移固定；选中【规定的】按钮，表示所选择的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴平移一定距离，在其后的文本框中键入平移距离，在其下方下拉列表框中选择单位。

（6）【旋转】选项组用于定义所选择的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴的旋转约束。选中【自由】按钮，表示所选取的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴自由旋转；选中【固定】按钮，表示所选取的点、线、面相对于 X、Y、Z 轴旋转固定；选中【规定的】按钮，表示所选择的点、线、面距离 X、Y、Z 轴旋转一定角度，在其后的文本框中键入相对角度，在其下方下拉列表框中选择单位。

下面图 7.47 所示为例，讲解【位移约束】工具中点、线、面约束的使用方法。

1．创建点约束

（1）打开模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择【属性（R）】→【约束集（T）】命令，系统弹出“约束集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，ConstraintSet1 约束集就添加

到列表框中，单击【关闭】按钮，完成约束集的创建。

（3）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“位移约束”对话框。

（4）在“约束”对话框中，选择【参照】下拉列表框中“Points”选项，在 3D 模型中选择一点，如图 7.48 所示。

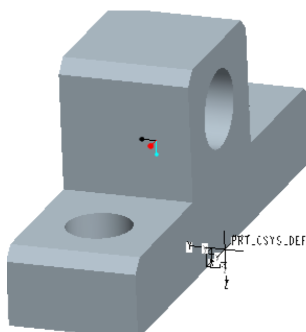


图 7.47　轴承座

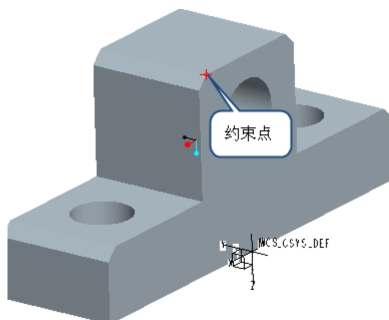


图 7.48　约束点

（5）在【平移】选项组中，选中 X 轴的【自由】按钮；选中 Y 轴的【固定】按钮；选中 Z 轴的【规矩的】按钮，在其后的文本框中键入 100，下拉列表框中选中“mm”选项。

（6）在【旋转】选项组中，选中 X 轴的【自由】按钮；选中 Y 轴的【固定】按钮；选中 Z 轴的【规矩的】按钮，在其后的文本框中键入 60，下拉列表框中选中“rad”选项。

（7）单击【确定】按钮，完成轴承座点约束的创建，效果如图 7.49 所示。

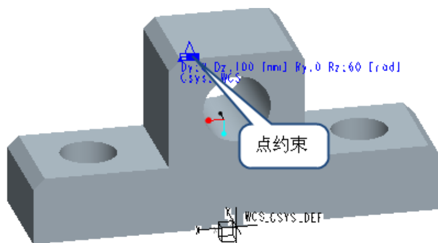


图 7.49　创建的点约束

2．创建线约束

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“位移约束”对话框。

（2）在“约束”对话框中，选择【参照】下拉列表框中“Edges/Curves”选项，在 3D 模型中选择约束边线，如图 7.50 所示。

（3）在【平移】选项组中，选中 X 轴的【自由】按钮；选中 Y 轴的【固定】按钮；选中 Z 轴的【规矩的】按钮，在其后的文本框中键入 200，下拉列表框中选中“mm”选项。

（4）在【旋转】选项组中，选中 X 轴的【自由】按钮；选中 Y 轴的【固定】按钮；选中 Z 轴的【规矩的】按钮，在其后的文本框中键入 60，下拉列表框中选中“rad”选项。

（5）单击【确定】按钮，完成轴承座边线约束的创建，效果如图 7.51 所示。

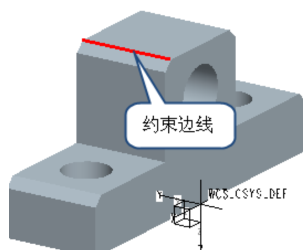


图 7.50 约束的边线

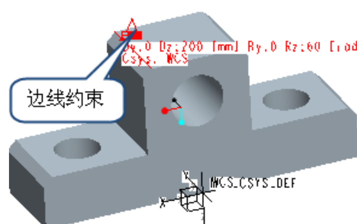


图 7.51 创建的边线约束

3．创建面约束

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“位移约束”对话框。

（2）在“约束”对话框中，选择【参照】下拉列表框中“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择约束面，如图 7.52 所示。

（3）在【平移】选项组中，选中 X 轴的【自由】按钮；选中 Y 轴的【固定】按钮；选中 Z 轴的【规矩的】按钮，在其后的文本框中键入 80，下拉列表框中选中“mm”选项。

（4）在【旋转】选项组中，选中 X 轴的【自由】按钮；选中 Y 轴的【固定】按钮；选中 Z 轴的【规矩的】按钮，在其后的文本框中键入 50，下拉列表框中选中“rad”选项。

（5）单击【确定】按钮，完成轴承座面约束的创建，效果如图 7.53 所示。

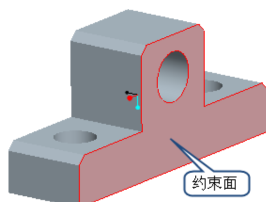


图 7.52 约束面

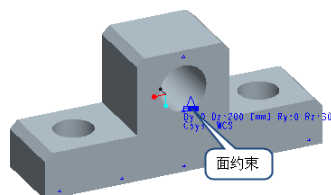


图 7.53 创建的面约束

7.3.3 创建平面约束

【平面约束】工具，是对平面的 6 个自由度进行约束的工具。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【平面约束（L）】命令，系统弹出“平面约束”对话框，如图 7.54 所示。



图 7.54　“平面约束”对话框

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建位移约束的名称，系统默认为 Constraint＋数字，也可以自定义。

（2）【集的成员】选项组用于定义新建平面约束属于哪个约束集，在其下拉列表框中选择所属约束集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的约束集，在系统弹出的“约束属性”对话框中，设置新约束集的名称和说明。

（3）【参照】选项组用于定义平面约束的对象。

下面以模型 b.prt 为例，讲解【平面约束】工具的使用方法。

（1）打开模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择【属性（R)】→【约束集（T)】命令，系统弹出“约束集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，ConstraintSet1 约束集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成约束集的创建。

（3）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【平面约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【平面约束（L)】命令，系统弹出“平面约束”对话框，平面就添加到列表框中。

（4）在 3D 模型中选择平面，如图 7.55 所示。

（5）单击【确定】按钮，完成平面约束的创建，效果如图 7.56 所示。

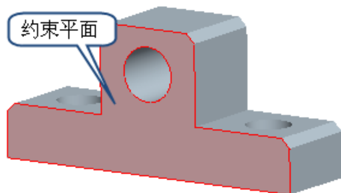


图 7.55　约束平面

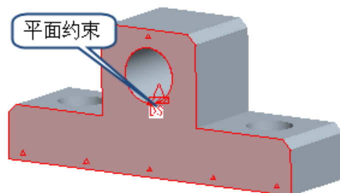


图 7.56　创建的平面约束

7.3.4　创建销钉约束

【销钉约束】工具，是对模型的轴向平移和径向旋转进行约束的工具。单击该工具按钮，系统弹出“销钉约束”对话框，如图 7.57 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建位移约束的名称，系统默认为 Constraint＋数字，也可以自定义。

（2）【集的成员】选项组用于定义新建销钉约束属于哪个约束集，在其下拉列表框中选择所属约束集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的约束集，在系统弹出的“约束属性”对话框中设置新约束集的名称和说明。

（3）【参照】选项组用于定义销钉约束对象，例如圆周曲面等。

（4）【属性】选项组用于定义轴特征约束和平面特征约束。选中【自由】按钮，表示绕轴线可以自由旋转，沿平面自由移动；选中【固定】按钮，表示绕轴线固定不动，沿平面放心固定不动。

下面以 b.prt 为例，讲解【销钉约束】工具的使用方法：

（1）打开模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择【属性（R）】→【约束集（T）】命令，系统弹出“约束集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，ConstraintSet1 约束集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成约束集的创建。

（3）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【销钉约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【销钉约束（I）】命令，系统弹出“销钉约束”对话框。

（4）在 3D 模型中选择平面，如图 7.58 所示，Surface 圆柱曲面就添加到列表框中。

（5）在【属性】选项组中，选中【角度约束】选项组中的【自由】按钮，使其围绕轴线进行旋转；选中【轴约束】选中组中的【固定】按钮，使其在轴向固定不动。

（6）单击【确定】按钮，完成销钉约束的创建，效果如图 7.59 所示。



图 7.57 “销钉约束”对话框

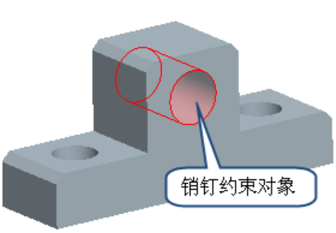


图 7.58 销钉约束对象

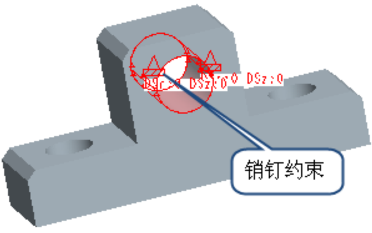


图 7.59 销钉约束

7.3.5 创建球约束

【球约束】工具，是对球面特征进行约束的工具。单击该工具按钮，或选择【插

入（I）】→【球约束（N）】命令，系统弹出“球约束”对话框，如图 7.60 所示。



图 7.60　“球约束”对话框

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建位移约束的名称，系统默认为 Constraint＋数字，也可以自定义。

（2）【集的成员】选项组用于定义新建球约束属于哪个约束集，在其下拉列表框中选择所属约束集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的约束集，在系统弹出的“约束属性”对话框中，设置新约束集的名称和说明。

（3）【参照】选项组用于定义球约束对象，只能选择球面。

下面以球体为例，讲解【球约束】工具的使用方法：

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 e，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【旋转】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制封闭的半圆和轴线，如图 7.61 所示，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，然后单击控制面板中的【完成】按钮，完成模型的设计，效果如图 7.62 所示。

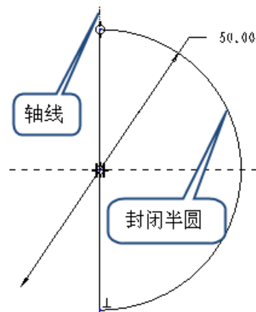


图 7.61　草图轮廓


图 7.62　球体

（5）选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica

模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）选择【属性（R)】→【约束集（T)】命令，系统弹出“约束集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，ConstraintSet1 约束集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成约束集的创建。

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【球约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【球约束（N)】命令，系统弹出“球约束”对话框。

（8）在 3D 模型中选择球面，单击【确定】按钮，完成球约束的创建，效果如图 7.63 所示。

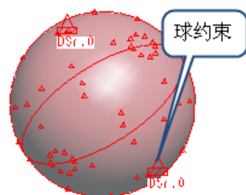


图 7.63　创建的球约束

7.3.6　创建对称约束

【对称约束】工具，是对镜像平面进行固定约束的工具。当想要进行模型的部分取得整个模型的分析结果时，就可以使用对称约束。对称约束需要零件或组件在镜像面的两边是对称的，即在对称平面一边的几何和模型元素必须和对称边完全匹配。在进行对称约束时，注意以下几点：

❑ 参照必须共面。

❑ 可使用点、曲线、边线或在镜像面上的面。

❑ 不能使用共线的参考组合。

❑ 可以定义超过 1 个以上的镜像对称以上，但是无法为 2 个不同的对称约束参照同样的几何元素。

❑ 要想在同一个模型中设置多组对称元素，镜像面必须彼此是完全平行或正交的。

❑ 单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对称约束（Y）】命令，系统弹出“对称约束”对话框，如图 7.64 所示。

（1）【Name（名称)】文本框用于定义新建位移约束的名称，系统默认为 Constraint＋数字，也可以自定义。

（2）【集的成员】选项组用于定义新建球约束属于哪个约束集，在其下拉列表框中选择所属约束集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的约束集，在系统弹出的“约束属性”对话框中，设置新约束集的名称和说明。

（3）【类型】下拉列表框用于选择对称约束类型：Mirror 和 Cyclic 两种。

（4）【参照】选项组用于定义对称约束的参照，可以选择点、线、面等组合，根据选择的类型不同，对话框中设置内容也不同，如果选择“Cyclic”选项，对话框更新为如图 7.65 所示，需要设置 3 个几何参数定义对称约束。



图 7.64　“对称约束”对话框

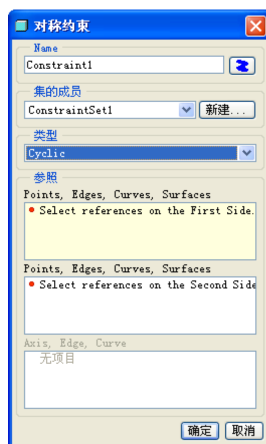


图 7.65　“对称约束”对话框

下面以四分之一圆柱为例，讲解【对称约束】工具的使用方法。

1．选择“Mirror”选项

要求：要分析的对象为半个圆柱，那么就可以使用四分之一圆柱简化代替进行分析，所以就需要使用【对称约束】工具来约束模型。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 f，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中列表框中选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制四分之一封闭圆周，如图 7.66 所示，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 220，然后单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计，效果如图 7.67 所示。

（5）选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）选择【属性（R）】→【约束集（T）】命令，系统弹出“约束集属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，ConstraintSet1 约束集就添加

到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成约束集的创建。

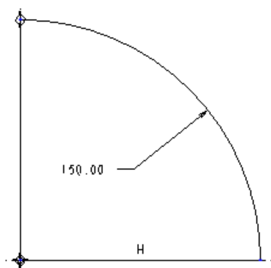


图 7.66　草图

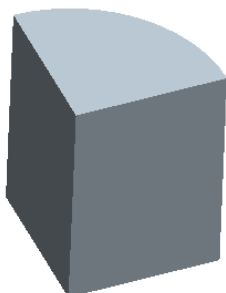


图 7.67　模型

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对称约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【对称约束（Y)】命令，系统弹出“对称约束”对话框。

（8）在“对称约束”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“Mirror”选项，在 3D 模型中选择对称平面为参照，如图 7.68 所示。

（9）单击【确定】按钮，完成对称约束的创建，效果如图 7.69 所示。

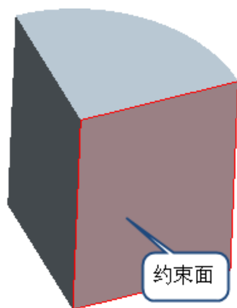


图 7.68　约束面

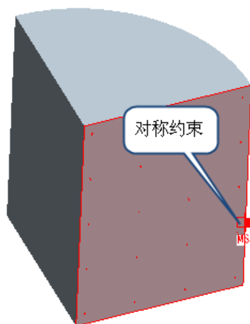


图 7.69　对称约束

2．选择“Cyclic”选项

要求：要分析的对象为圆柱，那么就可以使用四分之一圆柱简化代替进行分析，所以就需要使用【对称约束】工具来约束模型。

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对称约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【对称约束（Y)】命令，系统弹出“对称约束”对话框。


注意

第一步，使用“Mirror”选项进行约束结果不能保存，或者删除掉，才能使用“Cyclic”选项进行约束。

（2）在“对称约束”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“Cyclic”选项，在 3D 模型中选择两个对称平面为参照，如图 7.70 所示。

（3）单击【确定】按钮，完成对称约束的创建，效果如图 7.71 所示。

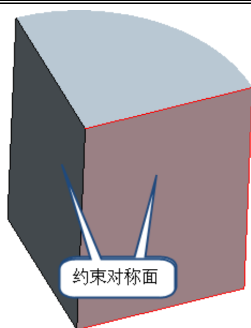


图 7.70　约束对称面

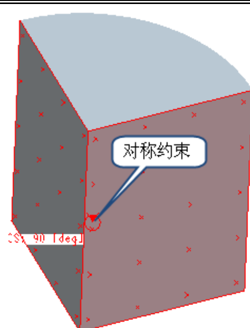


图 7.71　对称约束

7.4　理想化模型

理想化就是模型几何的数学近似值，Pro/Mechanica 用它来模拟一个设计的行为。在对结果影响不大的前提下，对模型进行适当的简化能够节约大量的运算时间，并且有利于模型的进一步评估。Pro/Mechanica 会在已加入模型的每个理想化中，计算应力和其他物理量。因此 Pro/Mechanica 提供了一些不同类型类型的理想化模型供选用，例如壳、壳对、梁、弹簧等，了解它们以及影响分析结果是很重要的。

7.4.1 创建壳

1．创建壳属性

【壳属性】命令，是将壳的一些属性值做成一个集合体保存在库中，方便在简化过程中调用，减少不必要的工作。选择菜单栏中的【属性（R)】→【壳属性（S)】命令，系统弹出“壳属性”对话框，如图 7.72 所示。

（1）【库中的壳属性】列表框显示当前 Pro/Mechanica 库中存在的壳属性。

（2）【模型中的壳属性】列表框显示当前模型中存在的壳属性。单击⏩按钮，将库中的壳属性添加到当前模型中；单击⏪按钮，将模型中的壳属性添加的库中。

（3）【说明】文本框显示在【库中的壳属性】或【模型中的壳属性】列表框中选中的壳属性的说明。

（4）【新建】按钮用于创建新的壳属性。单击该按钮，系统弹出“壳属性定义”对话框，如图 7.73 所示。

❑　【名称】文本框用于定义新建壳属性的名称，系统默认为 ShellProp＋数值，也可以自定义。

❑　【说明】文本框用于定义当前新建的壳属性的简单介绍，如：钢板 0.5。

【属性类型】下拉列表框用于选择新建壳属性的属性类型：同类、层压板叠层、层

压板刚度，根据选项不同，在对话框中设置的内容不同：选择“同类”选项，只需要设置板厚度；选择“层压板叠层”选项，需要设置壳属性材料、厚度、方向和数量。“壳属性”对话框更新为如图 7.74 所示，在【层叠对称】下拉列表框中选择对称方式：无对称、对称、非对称 3 种，在列表框中显示创建的极层，右侧是控制极层的工具按钮；选择“层压板刚度”选项，需要设置刚度和质量等属性。“壳属性”对话框更新为如图 7.74 所示，在【刚度】选项卡中设置延伸刚度、横向剪切刚度、耦合刚度、弯曲刚度、热合成系数、力矩等参数；在【质量和额外计算】选项卡中设置单位面积上的质量、单位面积上的转动惯量、计算应力和应变等属性参数。

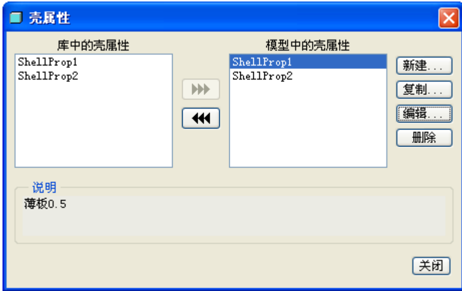


图 7.72 “壳属性”对话框



图 7.73 “壳属性定义”对话框

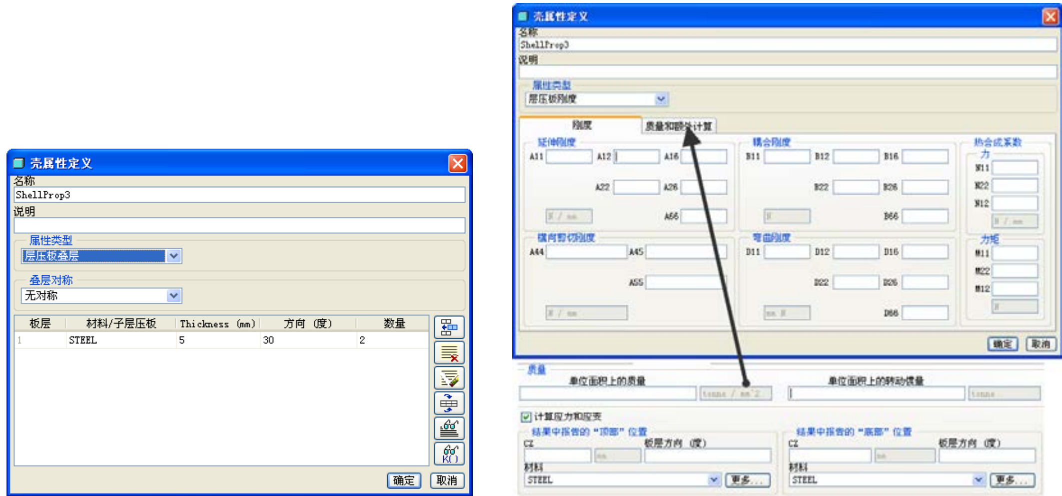


图 7.74 “壳属性”对话框

（5）【复制】按钮用于复制当前选中且高亮显示的壳属性。在列表框中选中一个壳属性，单击该按钮，一个复制的新的壳属性就创建完成。

（6）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的壳属性进行编辑，单击该按钮，系统弹出“壳属性定义”对话框，在对话框中重新定义壳属性。

（7）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的壳属性进行移除。在列表框中选中欲移除的壳属性，单击该按钮，被选中的壳属性就移除出当前模型中。

2．创建壳（Shell）

【壳】工具，是当模型的厚度远小于它的长和宽时，就可以使用该工具对其进行简化，该工具是通过直接选取曲面来定义。比起实体模型来，它的运行速度较快、不牺牲准确性，同时需要的硬盘空间也比较少。



注意

在集成模式下，Pro/Mechanica 不允许使用部分是实体，部分是薄壳的混合模型。

单击“Mechanica 对象”工具栏上的【壳】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【壳（S）】命令，系统弹出“壳定义”对话框，如图 7.75 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建壳的名称，系统默认为 Shell＋数字，也可以自定义。

（2）【类型】下拉列表框用于选择创建壳类型：Simple 和 Advanced 两种。

（3）【参照】选项组用于定义创建壳对象的基准。

- 在【Surfaces（表面）】选项组中选择不同的表面选取方法。点选【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）；点选【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；点选【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）的集合；
- 列表框用于显示选择的曲面；
- 根据在 3D 模型中选择相应的几何元素，该几何元素就添加到列表框中。如果欲选择曲面，单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，在该对话框中可以完成曲面集的定义。

（4）【属性】选项组用于定义壳的属性，根据选择的类型不同，所要置的内容也不同。选择“Simple”选项，只需设置“Thichness（厚度）”和“Material（材料）”两选项；选中“Advanced”选项，对话框如图 7.76 所示，在【Shell Property（壳属性）】下拉列表框中选择模型中的壳属性，或单击其后的【更多】按钮进入“壳属性”对话框，进行壳属性的操作；在【Material（材料）】下拉列表框中选择材料，或单击其后的【更多】按钮，弹出“材料”对话框，选择模型的材料；在【Material Orientation（材料方向）】下拉列表框中选择材料方向，或单击其后的【更多】按钮，弹出“材料方向”对话框，对材料方向进行操作。

下面以图 7.77 所示图形为例，解决【壳】工具的使用方法：

（1）打开模型 a.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择【属性（R）】→【壳属性（S）】命令，系统弹出“壳属性”对话框，单击【新建】按钮，系统弹出“壳属性定义”对话框，选择【属性类型】下拉列表框中“同类”选项，在【厚度】文本框中键入 5，其他保持系统默认值，单击【确定】按钮，ShellProp1

壳属性就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成壳属性的创建。

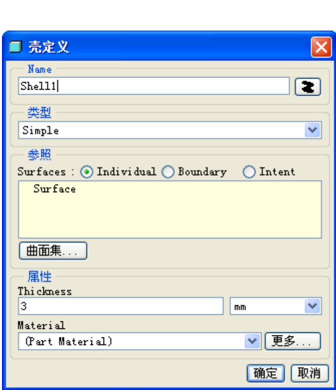


图 7.75 “壳定义”对话框

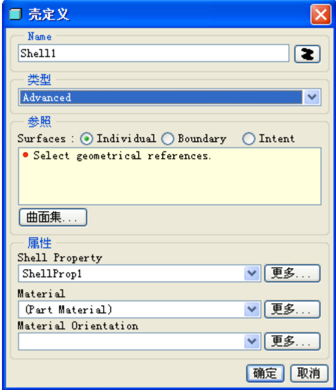


图 7.76 “壳定义”对话框

（3）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【壳】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【壳（S)】命令，系统弹出“壳定义”对话框。

（4）在对话框中，选择【类型】下拉列表框中的“Advanced”选项，在 3D 模型中选择上表面。

（5）在【属性】选项组中【Shell Property（壳属性）】下拉列表框中选择“ShellProp1”壳属性，单击【Material（材料)】文本框后的【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，在对话框中选择“Steel.mtl”选项，单击【Material Orientation（材料方向)】文本框后【更多】按钮，在系统弹出的材料方向对话框中新建一材料方向，并加载到当前模型中。

（6）单击【确定】按钮，完成壳定义，经过模态分析效果如图 7.78 所示。

3. 创建壳对

【壳对】工具，是通过选取多个相互平行的曲面定义 Shell（壳）的工具。单击该按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【中间曲面】→【壳对】命令，系统弹出“壳对定义”对话框，如图 7.79 所示。

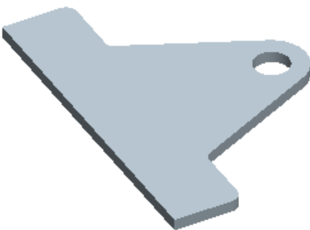


图 7.77 模型

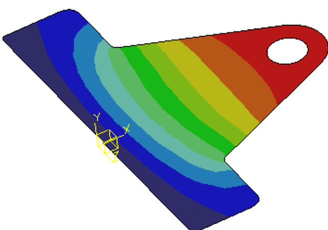


图 7.78 分析结果



图 7.79 “壳对定义”对话框

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建壳对的名称，系统默认为 ShellPair＋数字，也可以自定义。

（2）【类型】下拉列表框用于选择创建壳对的类型：Constant 和 Multi-Constant 两种。

（3）【参照】选项组用于定义创建壳对的对象。勾选【自动选取相对曲面】复选框，表示选取具有对称性质的表面，在 3D 模型中选择表面，与其具有对称性质的表面也被选中，且添加到【Surfaces】列表框中。

（4）【对属性】选项组用于定义壳对的放置属性，在其下拉列表框中选择：Midsurface（中间平面）、Top（顶面）、Bottom（地面）、Selected Surface（选择平面）；勾选【延伸相邻曲面】复选框，表示与选中的曲面相邻的曲面也被选中。

（5）【材料属性】选项组用于定义模型的材料和材料方向属性，在下拉列表框中选择所需要的加载到当前模型中的材料的材料方向属性，也可以单击其后的【更多】按钮，添加新的材料和材料方向属性。

（6）单击【创建此壳对，并为另一壳对创建做准备对话框】按钮，表示将定义的壳对保存，并且使对话框中各选项恢复到初始状态，有利于定义下一壳对。

下面以如图 7.80 所示弹簧座为例，讲解【壳对】工具的使用方法。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 G，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 7.81 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 20，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

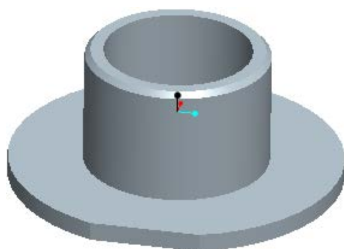


图 7.80　弹簧座

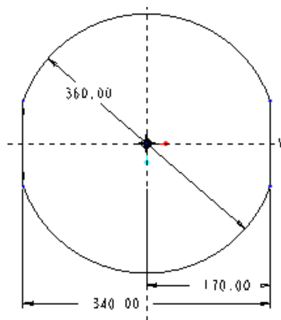


图 7.81　草图

（5）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D

工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（6）绘制 Ø160 和 Ø200 两同心圆，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 130，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

（7）选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（8）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【壳对】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【中间曲面】→【壳对】命令，系统弹出“壳对定义”对话框。

（9）在 3D 模型中选择圆环外表面，单击【Material】文本框右侧的【更多】按钮，选择“Steel”选项加载到当前模型中。

（10）单击【Material Orientation】文本框右侧的【更多】按钮，系统弹出“材料方向定义”对话框，单击【新建】按钮，在弹出的“材料方向定义”对话框中，选择【相对于】下拉列表框中的“第一参数化方向”，单击【确定】按钮，返回“材料方向”对话框，单击【确定】按钮，材料方向被添加到当前模型中。

（11）单击【创建此壳对，并为另一壳对创建做准备对话框】按钮，效果如图 7.82 所示。

（12）在 3D 模型中选择下底面，在【Material】下拉列表框中选择“Steel”选项。

（13）在【Material Orientation】下拉列表框中选择“MaterialOrient1”选项，单击【完成】按钮，效果如图 7.83 所示。

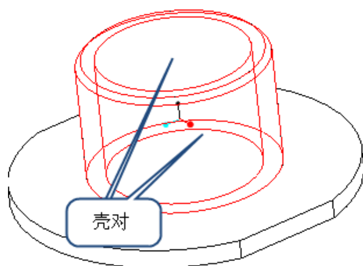


图 7.82　创建的壳对

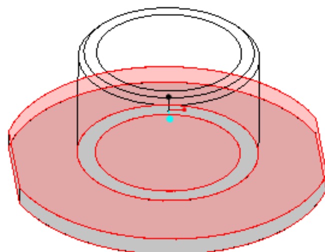


图 7.83　创建的壳对

7.4.2　创建梁

1. 创建梁截面

【梁截面】命令，是用于定义梁横截面的工具。选择菜单栏中的【属性（R）】→【梁截面（B）】命令，系统弹出“梁截面”对话框，如图 7.84 所示。

（1）【库中的梁截面】列表框显示当前 Pro/Mechanica 库中存在的梁截面。

（2）【模型中的梁截面】列表框显示当前模型中存在的梁截面。单击按钮，将库

中的梁截面添加到当前模型中；单击⏪按钮，将模型中的梁截面添加的库中。

（3）【说明】文本框显示在【库中的梁截面】或【模型中的梁截面】列表框中选中的梁截面的说明。

（4）【新建】按钮用于创建新的梁截面。单击该按钮，系统弹出“梁截面定义”对话框，如图 7.85 所示。

❑ 【名称】文本框用于定义新建梁截面的名称，系统默认为 BeamSection＋数值，也可以自定义；

❑ 【说明】文本框用于定义当前新建的梁截面的简单介绍，如：方形截面；

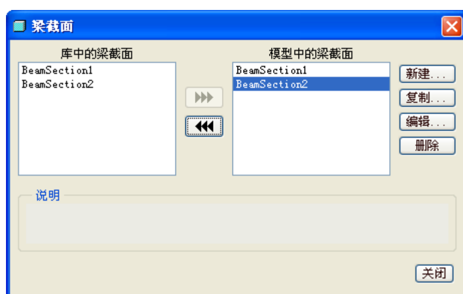


图 7.84　“梁截面”对话框

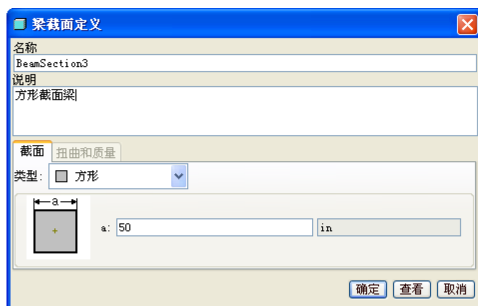


图 7.85　“梁截面定义”对话框

【截面】选项卡用于定义梁截面形状。在【类型】下拉列表框中选择截面类型：一般、方形、矩形、空心矩形、槽、工字梁、L 形截面、棱形等，以及草图绘制截面。根据在下拉列表框中选择的选项不同，在其下方进行相关参数的设置，特殊形状可以用草绘直接定义。

（5）【复制】按钮用于复制当前选中且高亮显示的梁截面。在列表框中选中一个梁截面，单击该按钮，一个复制的新的梁截面就创建完成。

（6）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的梁截面进行编辑，单击该按钮，系统弹出“梁截面定义”对话框，在“梁截面定义”对话框中重新定义梁截面。

（7）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的梁截面进行移除。在列表框中选中欲移除的梁截面，单击该按钮，被选中的梁截面就移除出当前模型中。

2. 创建梁方向

【梁方向】命令，是用于定义梁方向的命令。选择菜单栏中的【属性（R）】→【梁方向（O）】命令，系统弹出“梁方向”对话框，如图 7.86 所示。

（1）【新建】按钮用于在当前模型中创建新的梁方向。单击该按钮，系统弹出“梁方向定义”对话框，如图 7.87 所示。

❑ 【名称】文本框用于定义创建的梁方向的名称，系统默认为 BeamOrient＋数字，也可以自定义；。

❑ 【说明】文本框用于定义当前新建的梁方向的简单介绍，如：DY＝1，方向角为

50。

❑ 【方向角】文本框用于定义梁的旋转角度。

❑ 【偏移】选项组用于定义梁的偏移方向和位置。在【位置】选项组中选择【形状原点】单选按钮，或【剪切中心】单选按钮用于定义梁位置相对于梁载荷坐标系；在 DX、DY、DZ 文本框中键入数值定义梁方向的方向向量。

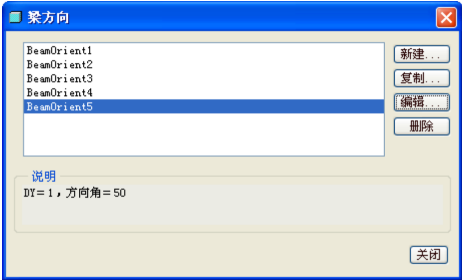


图 7.86 “梁方向”对话框

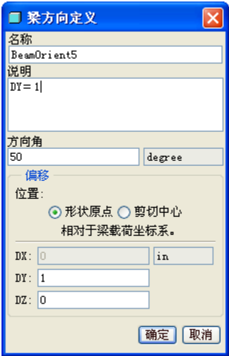


图 7.87 “梁方向定义”对话框

（2）【复制】按钮用于复制当前选中且高亮显示的梁方向。在列表框中选中一个梁方向，单击该按钮，一个拷贝的新的梁方向就创建完成。

（3）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的梁方向进行编辑。单击该按钮，系统弹出“梁方向定义”对话框，在对话框中重新定义梁方向。

（4）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的梁方向进行移除。在列表框中选中欲移除的梁方向，单击该按钮，被选中的梁方向就移除出当前模型中。

3．创建梁释放

【梁释放】命令，是用于控制梁端点的自由度。选择菜单栏中的【属性（R）】→【梁释放（R）】命令，系统弹出“梁释放”对话框，如图 7.88 所示，该对话框的内容如下所述：

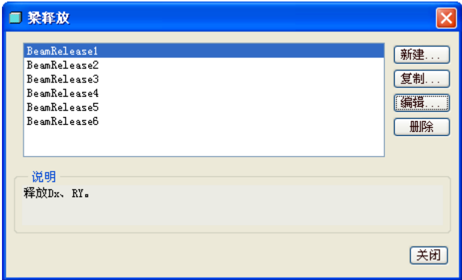


图 7.88 “梁释放”对话框

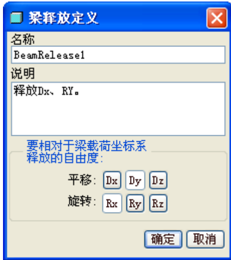


图 7.89 “梁释放定义”对话框

（1）【新建】按钮用于在当前模型中创建新的梁释放。单击该按钮，系统弹出“梁方向定义”对话框，如图 7.89 所示。

❑ 【名称】文本框用于定义创建的梁释放的名称，系统默认为 BeamRelease＋数字，

也可以自定义。

❑ 【说明】文本框用于定义当前新建的梁释放的简单介绍，如：释放 Dx、RY。

❑ 【要相对于梁载荷坐标系释放的自由度】选项组用于定义梁端点释放自由度。在【平移】选项组中，选择 DX、DY、DZ 按钮，表示梁端点相对于相应坐标轴平移自由度进行释放；在【旋转】选项组中，选择 RX、RY、RZ 按钮，表示梁端点相对于相应坐标轴旋转自由度进行释放。

（2）【复制】按钮用于复制当前选中且高亮显示的梁释放。在列表框中选中一个梁释放，单击该按钮，一个复制的新的梁释放就创建完成。

（3）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的梁释放进行编辑。单击该按钮，系统弹出“梁释放定义”对话框，在“梁释放定义”对话框中重新定义梁释放。

（4）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的梁释放进行移除。在列表框中选中欲移除的梁释放，单击该按钮，被选中的梁释放就移除出当前模型中。

4．创建梁

【梁】工具，是当模型的长度远大于其他尺寸时，就可以使用该工具对齐进行简化。例如铁轨、桁架等。单击该按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【梁（E）】命令，系统弹出“梁定义”对话框，如图 7.90 所示。

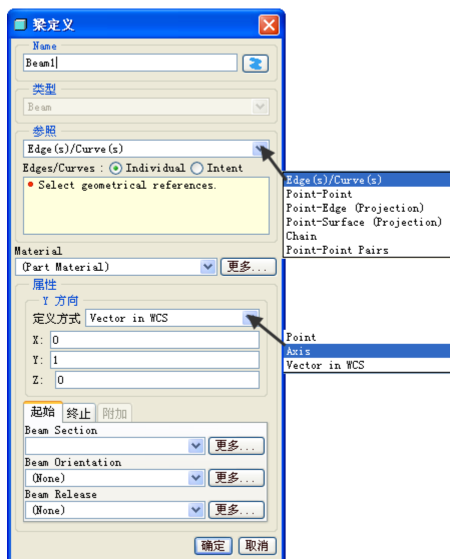


图 7.90　“梁定义”对话框

（1）【Name】文本框用于定义新建梁的名称，系统默认为 Beam＋数字，也可以自定义。单击其后的【颜色设置】按钮，用于设置系统中梁的显示颜色。

（2）【参照】选项组用于定义梁对象参照。

❑ 在其下拉列表框中选择参考类型：①选择“Edge（S）/Curve（S）”选项，表示根据选择“边线、曲线”来定义梁；②选择“Point－Point”选项，表示根据选择“点到

点”来定义梁；③选择“Point－Edge（Projection）”选项，表示根据选择“点到边线”来定义梁；④选择“Point－Surface（Projection）”选项，表示根据选择“点到面”来定义梁；⑤选择“Chain”选项，表示根据选择“系列点”来定义梁；⑥选择“Point－Point Pairs”选项，表示根据选择“点到多点”来定义梁。

❑ 根据下拉列表框中选择不同的选项，其下有不同的单选按钮，单选按钮表示内容如下所述：【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面;【Single】单选按钮表示选择单个点;【Feature】单选按钮表示选择点特征;【Pattern】单选按钮表示选择点模型。

（3）【Material】选项组用于定义梁的材料。

❑ 在下拉列表框中选择加载在当前模型中的材料。

❑ 单击【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，在材料库中为模型中添加所需材料，添加以后，在下拉列表框中就能看到添加的材料且将材料赋予与模型。

（4）【属性】选项组用于定义梁的 Y 方向、梁的横截面、梁的材料方向、梁的约束等参数。

❑ 【定义方式】下拉列表框用于定义梁 Y 方向的方式。选择“Point”选项，在 3D 模型中选择一点来定义梁 Y 方向；选择“Axis”选项，在 3D 模型中选择轴线来定义梁 Y 方向；选择“Vector in WCS”选项，在【X、Y、Z】文本框中键入方向向量值来定义梁 Y 方向。

❑ 【起始】选项卡用于定义梁起始点的梁截面、梁方向、梁释放等参数。在【Beam Section】下拉列表框中选择加载在当前模型中的梁截面，单击其后的【更多】按钮可以将截面库中的梁截面加载到当前模型中，也可以新建新的梁截面；在【Beam Orientdtion】下拉列表框中选择加载在当前模型中的梁方向，单击其后的【更多】按钮可以新建新的梁方向；在【Beam Release】下拉列表框中选择加载在当前模型中的梁释放，单击其后的【更多】按钮可以新建新的梁释放。

❑ 【终止】选项卡用于定义梁终点的梁截面、梁方向、梁释放等参数，具体使用方法与【起始】选项卡使用方法相同。

下面以如图 7.91 所示的梁为例，讲解【梁】工具的使用方法：

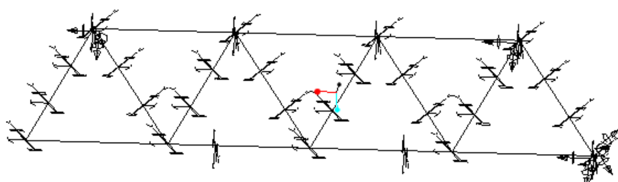


图 7.91　梁

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 g，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中列表框中选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基准”工具栏上的【草绘】工具按钮，系统弹出“草绘”对话框，在工作区选择 Right 草绘面，单击“草绘”对话框中的【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 7.92 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，完成梁框架草图的设计。

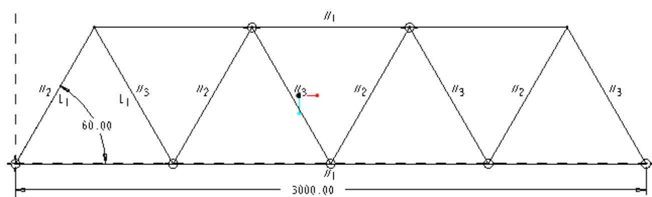


图 7.92　梁框架草图

（5）选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）选择菜单栏中的【属性（R）】→【梁截面（B）】命令，系统弹出“梁截面”对话框。

（7）在“梁截面”对话框中，单击【新建】按钮，系统弹出“梁截面定义”对话框。

（8）在“梁截面定义”对话框中，【说明】文本框中键入“工字形梁截面”。

（9）单击【截面】选项卡，选择【类型】下拉列表框中的“工字梁”选项，在【b】文本框中键入 100，【t】文本框中键入 10，【di】文本框中键入 150，【tw】文本框中键入 12，如图 7.93 所示。

（10）单击【确定】按钮，返回“梁截面”对话框，单击【关闭】按钮，完成梁截面的设定。

（11）选择菜单栏中的【属性（R）】→【梁方向（O）】命令，系统弹出“梁方向”对话框。

（12）在“梁方向”对话框中，单击【新建】按钮，系统弹出“梁方向定义”对话框。

（13）在“梁方向”对话框中，【说明】文本框中键入“DY=1,方向角为 60”，【方向角】文本框中键入 60，【DY】文本框中键入 1，如图 7.94 所示。

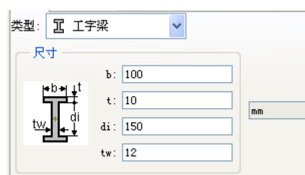


图 7.93　工字截面设置项

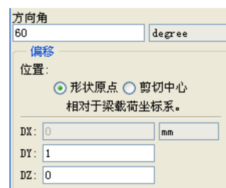


图 7.94　梁方向设置项

（14）单击【确定】按钮，返回“梁方向”对话框，单击【关闭】按钮，完成梁方向的定义。

（15）选择菜单栏中的【属性（R）】→【梁释放（R）】命令，系统弹出“梁释放”对话框。

（16）在“梁释放”对话框中，单击【新建】按钮，系统弹出“梁释放定义”对话框。

（17）在“梁释放定义”对话框中，【说明】文本框中键入“平移 DX，旋转 RX 释放自由度”，选中【平移】选项组中的【DX】按钮，选中【旋转】选项组中的【RX】按钮。

（18）单击【确定】按钮，返回“梁释放”对话框，单击【关闭】按钮，完成梁释放定义。

（19）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【梁】工具按钮，或选择【插入（I）】→【梁（E）】命令，系统弹出“梁定义”对话框。

（20）选择“梁定义”对话框中【参照】下拉列表框中的“Edge（S）/Curve（S）”选项，在 3D 模型中选择全部梁框架曲线，如图 7.95 所示。

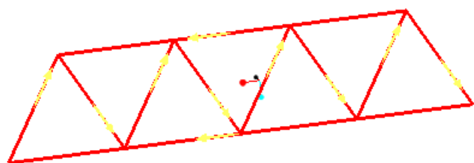


图 7.95　选中的梁框架

（21）单击【Material】文本框右侧的【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中材料】列表框中“steel.mtl”选项，使其加载到右侧【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，该材料就添加到【Material】下拉列表框中，并选中该选项。

（22）选中【Y 方向】下拉列表框中的“Vector in WCS”选项，在【Y】文本框中键入 1。

（23）单击【起始】选项卡，选中【Deam Section】下拉列表框中的“Beam Section1”选项，选中【Deam Orientation】下拉列表框中的“BeamOrient1”选项，选中【Deam Release】下拉列表框中的“Beam Release1”选项。

（24）单击【终止】选项卡，选中【Deam Release】下拉列表框中的“Beam Release1”

选项，单击【确定】按钮，完成梁定义，效果如图 7.91 所示。

7.4.3　创建弹簧

1．创建弹簧属性

【弹簧属性】命令，是用来定义弹簧的延伸、耦合、扭转等技术参数的命令。选择菜单栏中的【属性（R）】→【弹簧属性（G）】命令，系统弹出“弹簧属性”对话框，如图 7.96 所示。

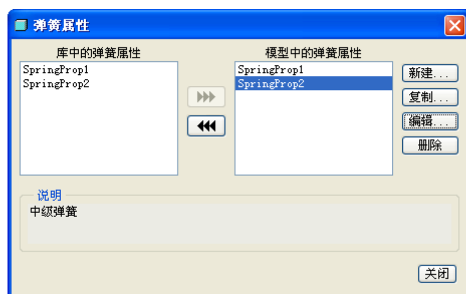


图 7.96　“弹簧属性”对话框

（1）【库中的弹簧属性】列表框显示当前 Pro/Mechanica 库中存在的弹簧属性。

（2）【模型中的弹簧属性】列表框显示当前模型中存在的弹簧属性。单击按钮，将库中的弹簧属性添加到当前模型中；单击按钮，将模型中的弹簧属性添加的库中。

（3）【说明】文本框显示在【库中的弹簧属性】或【模型中的弹簧属性】列表框中选中的弹簧属性的说明。

（4）【新建】按钮用于创建新的弹簧属性。单击该按钮，系统弹出“弹簧属性定”义对话框，如图 7.97 所示。

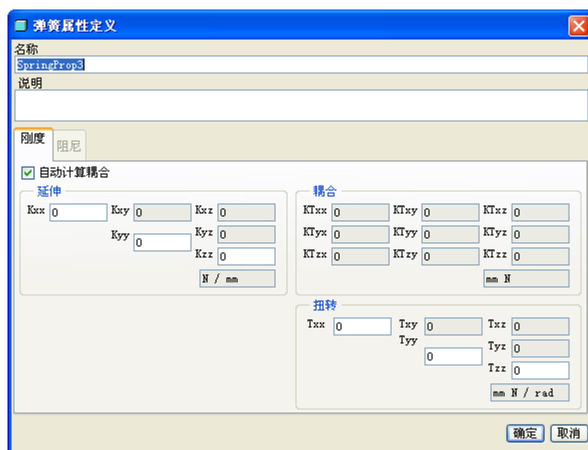


图 7.97　“弹簧属性定”义对话框

- ❑ 【名称】文本框用于定义新建弹簧属性的名称，系统默认为 SpringProp＋数字，也可以自定义。
- ❑ 【说明】文本框用于定义当前新建弹簧属性的简要说明介绍，如中级弹性。
- ❑ 【刚度】选项卡用于定义新建弹簧的刚度。点选【自动计算耦合】单选按钮，表示系统自动对新建弹簧进行耦合计算，【耦合】选项组变成灰色不可以状态，在【延伸】、【扭转】和【耦合】选项组中分布定义弹簧的 X、Y、Z 轴之间的延伸、扭转、耦合等弹簧属性技术参数。

（5）【复制】按钮用于复制当前选中且高亮显示的弹簧属性。在列表框中选中一个弹簧属性，单击该按钮，一个复制的新的弹簧属性就创建完成。

（6）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的弹簧属性进行编辑，单击该按钮，系统弹出“弹簧属性定义”对话框，在对话框中重新定义弹簧属性。

（7）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的弹簧属性进行移除。在列表框中选中欲移除的弹簧属性，单击该按钮，被选中的弹簧属性就移除出当前模型中。

2．创建弹簧

【弹簧】工具，是用于简化对象之间线性的弹力和扭矩。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【弹簧】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【弹簧（R）】命令，系统弹出“弹簧定义”对话框，如图 7.98 所示。

（1）【Name】文本框用于定义新建弹簧属性的名称，系统默认为 Spring＋数字，也可以自定义。单击其后的【颜色】按钮，系统弹出颜色编辑器，对模型中弹簧属性的显示颜色进行编辑。

（2）【类型】下拉列表框用于定义当前新建弹簧属性的类型：Simple、Advanced 和 To Ground。

（3）【参照】选项组用于定义弹簧属性的参照。

- ❑ 选择“Point－Point”选项，表示根据选择“点到点”来定义弹簧属性；选择“Point－Edge（Projection）”选项，表示根据选择“点到边线”来定义弹簧属性参照；选择“Point－Surface（Projection）”选项，表示根据选择“点到面”来定义弹簧属性参照；选择“Point－Point Pairs”选项，表示根据选择“点到多点”来定义弹簧参照。
- ❑ 根据下拉列表框中选择不同的选项，其下有不同的单选按钮，单选按钮表示内容如下所述：【Single】单选按钮表示选择单个点；【Feature】单选按钮表示选择点特征；【Pattern】单选按钮表示选择点模型；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合。

（4）【属性】选项组用于定义弹簧属性，根据选择定义弹簧的类型不同，该选项组的选项也不尽相同，如图 7.99 所示。

- ❑ 选择“Simple（简单）”选项，表示需要设置“Extensional stiffness（延伸劲度）”和“Torsional stiffness（抗扭刚度）”两个选项定义弹簧属性。

❑　选择“Advanced（高级）”选项，需要设置“Sping Property（弹簧属性）”、“Y 方向”和“Additional Rotayion”3 个选项定义弹簧属性。

❑　选择“To Ground（对地）”选项，需要设置“Sping Property（弹簧属性）”和坐标系来定义弹簧属性。

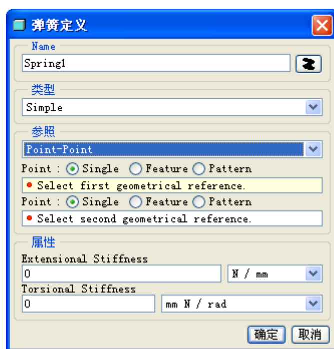


图 7.98　“弹簧定义”对话框

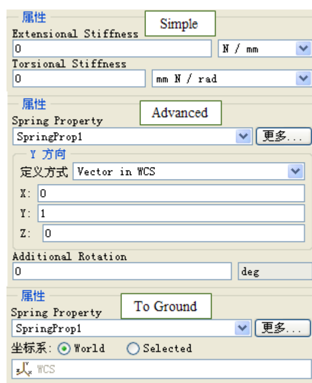


图 7.99　【属性】选项组

下面以上例中创建的梁为例，讲解【梁】工具的使用方法。

（1）打开 G.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择菜单栏中的【属性（R）】→【弹簧属性（G）】命令，系统弹出“弹簧属性”对话框。

（3）在弹簧属性对话中，单击【新建】按钮，系统弹出“弹簧属性定义”对话框。

（4）在【说明】文本框中键入“中级弹性”，单击【刚度】选项卡，点选【自动计算耦合】单选按钮，在【延伸】选项组中【Kxx】文本框中键入 1000，【Kyy】文本框中键入 1500，【Kzz】文本框中键入 1000。

（5）在【扭转】选项组中【Txx】文本框中键入 500，【Tyy】文本框中键入 500，【Tzz】文本框中键入 300。

（6）单击【确定】按钮，返回“弹簧属性”对话框，单击【关闭】按钮，完成弹簧属性的设置。

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【弹簧】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【弹簧（R）】命令，系统弹出“弹簧定义”对话框。

（8）在“弹簧定义”对话框中，选择【类型】下拉列表框中的“To Ground”选项，点选【参照】选项组中的【Single】单选按钮，在 3D 模型中选择一端点，如图 7.100 所示，选择【属性】选项卡中【Spring Property】下拉列表框中选择“SpringProp1”选项，如图 7.101 所示。

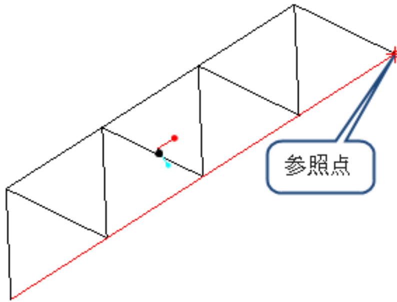


图 7.100 选择的参考点

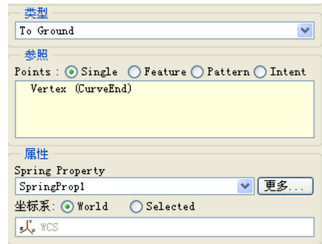


图 7.101 弹簧设置选项

（9）单击【确定】按钮，完成一支持弹簧的定义，效果如图 7.102 所示。

（10）使用同样的参数设置和方法，在梁另一端点也创建弹簧，最终效果如图 7.103 所示。

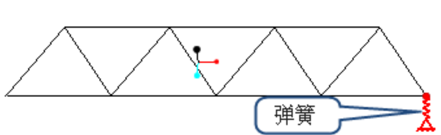


图 7.102 创建的弹簧

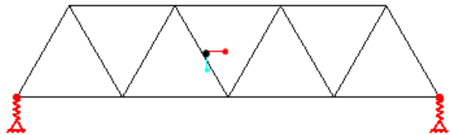


图 7.103 创建的弹簧

7.4.4 创建质量

1. 创建质量属性

【质量属性】命令，对模型具有的重力和惯性矩进行设置的命令。选择菜单栏中的【属性（R）】→【质量属性（P）】命令，系统弹出“质量属性”对话框，如图 7.104 所示。

（1）列表框用于显示当前模型中的质量属性。

（2）【说明】文本框用于显示在列表框中选中且高亮显示的质量属性的简要说明。

（3）【新建】按钮为当前模型创建新的质量属性。单击该按钮，系统弹出“质量属性定义”对话框，如图 7.105 所示。

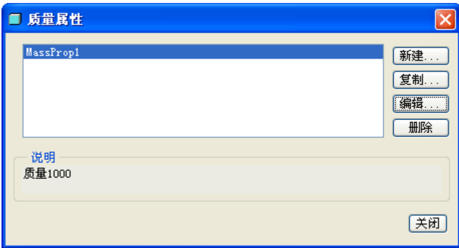


图 7.104 “质量属性”对话框

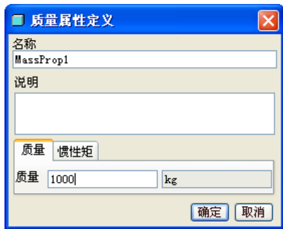


图 7.105 “质量属性定义”对话框

❑ 【名称】文本框用于定义当前新建弹簧属性的名称，系统默认为 MassProp＋数

字，也可以自定义。

- 【说明】文本框用于定义当前新建质量属性的简要说明。
- 【质量】选项卡用于定义当前模型的重量。
- 【惯性矩】选项卡用于定义当前新建质量属性的 X、Y、Z 轴之间的贯性矩。

（4）【复制】按钮用于复制当前选中且高亮显示的质量属性。在列表框中选中一个质量属性，单击该按钮，一个复制的新的质量属性就创建完成。

（5）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的质量属性进行编辑，单击该按钮，系统弹出“质量属性定义”对话框，在对话框中重新定义质量属性。

（6）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的质量属性进行移除。在列表框中选中欲移除的质量属性，单击该按钮，被选中的质量属性就移除出当前模型中。

2．创建质量

【质量】工具，是对模型进行分析时，只考虑重力而忽略形状对模型进行简化的工具。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【质量】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【质量（M）】命令，系统弹出“质量定义”对话框，如图 7.106 所示。

（1）【Name】文本框用于定义当前创建的质量名称，系统默认为 Mass＋数字，也可以自定义。

（2）【类型】文本框用于定义新建质量的类型：Simple、Advanced。

（3）【参照】选项组用于定义质量点。在【Points】选项组中选择点的类型：①【Single】单选按钮表示选择单个点；②【Feature】单选按钮表示选择点特征；③【Pattern】单选按钮表示选择点模型；④【Intent】单选按钮表示选择多个 Points（点）的集合。

（4）【属性】选项组用于定义质量属性，根据选择的质量类型不同，该选项组中各选项也不尽相同，如图 7.107 所示。选择“Simple”选项，在【分布】下拉列表框中选择重力分布方式：Total Mass（总质量）、Mass Per Point（每点质量），在【Mass】文本框定义质量，在其后下拉列表框选择质量单位；选择“Advanced”选项，在【Mass Property】下拉列表框中选择当前模型中的质量属性，也可以单击【更多】按钮，新建或者修改模型中的质量属性。

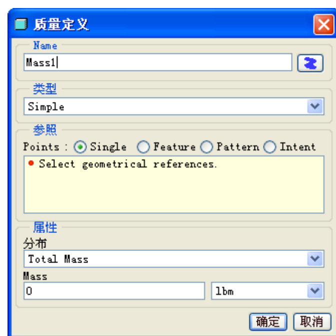


图 7.106　“质量定义”对话框

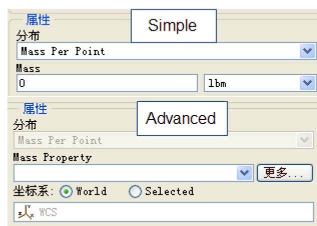


图 7.107　【属性】选项组

下面以上节中讲解的梁为例，讲解【质量】工具的使用方法。

（1）打开 G.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择菜单栏中的【属性（R）】→【质量属性（P）】命令，系统弹出“质量属性”对话框。

（3）在质量属性对话中，单击【新建】按钮，系统弹出“质量属性定义”对话框。

（4）在【说明】文本框中键入“1000kg”，单击【质量】选项卡，在【质量】文本框中键入 1000。

（5）单击【贯性矩】选项卡，在【Ixx】文本框中键入 500，【Iyy】文本框中键入 500，【Izz】文本框中键入 300。

（6）单击【确定】按钮，返回“质量属性”对话框，单击【关闭】按钮，完成质量属性的创建。

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【质量】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【质量（M）】命令，系统弹出“质量定义”对话框。

（8）在【类型】下拉列表框中选择“Advanced”选项，点选【Points】选项组中【Single】单选按钮，在 3D 模型中选择梁中点作为梁的质点，如图 7.108 所示。

（9）选择【属性】选项组中【Mass Property】下拉列表框“MassProp1”选项，点选【坐标系】选项组中【World】单选按钮。

（10）单击【确定】按钮，完成质量的创建，效果如图 7.109 所示。

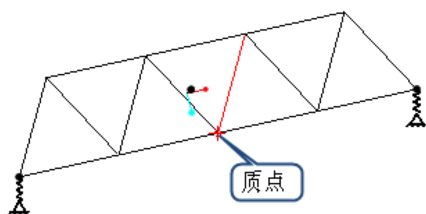


图 7.108　选择的质点

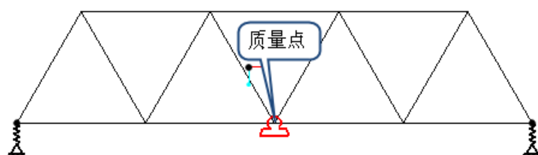


图 7.109　创建的质点

7.5　创建连接

在进行分析运行之后，Mechanica 会将独立的零件合并为单一多体。Mechianica 可以合并如下的独立零件：

- 如果两个零件在组件理接触，Mechanica 会视这两个零件为 1 个独立的个体，有它们的共同面和边。这种情况下，系统认为是一个 Mechanica 物体。
- 如果使用中间曲面来连接，就可以使用焊接或点焊接，或系统自动创建中间曲面

连接，以消除发生在零件连接边缘或表面之间的间隙。

- 如果零件不接触其他零件，那么 Mechanica 将其视为一个无关联的物体。

Mechanica 是否可以连接组件里的零件，主要决定零件之间的接触程度和零件之间的公差。在进行运行分析或设计研究之前，Mechanica 会询问是否要进行侦错，如果回答是，Mechanica 将对各种情况进行检查。如果遇到超过 1 个以上物体，就会显示它发现的分离数量、未连接数量、物体数量等信息。如果发现不符合真实情况，就可以取消分析或修正组件。在 Mechanica 里设置连接对，进一步帮助系统确认所需要的连接，以达到正确的分析效果。

7.5.1　创建界面

【界面】工具，是连接组件文件中的两个面。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【界面】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【连接（O）】→【界面（I）】命令，系统弹出“界面定义”对话框，如图 7.110 所示。

（1）【Name】文本框用于定义当前创建的界面名称，系统默认为 Interface＋数字，也可以自定义。单击其后的【颜色】按钮，系统弹出颜色编辑器，编辑界面特征在当前模型中的显示颜色。

（2）在【类型】下拉列表框镇南关选择创建的界面类型：

- 选择“Bonded”选项，系统将接触面结合为一体，即结合面上结合点是合并的。
- 选择“Free ”选项，系统可以结合指定的两面，让它们在几何上有一致的结合点，但并不合并该结合点。
- 选择“Contact”选项，系统将指定的两面接触，并不合并该结合点。

（3）【参照】选项组用于定义创建界面特征的参照。在下拉列表框中选择参照类型：Surface－Surface（面面结合）、Component－Component（元件元件结合）。根据选项的选项不同，在其下进行不同的设置。

（4）【属性】选项组用于定义结合面的属性，根据界面类型不同，该选项组中的选项也不同。

（5）【选择过滤公差】选项组用于过滤两元件之间结合的距离和角度公差，仅适用于 Component－Component（元件元件结合）参照类型。

下面以如图 7.111 所示模型为例，讲解【界面】工具的使用方法：

（1）打开模型 ASM0001.ASM，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块；

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【界面】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【连接（O）】→【界面（I）】命令，系统弹出“界面定义”对话框；

（3）在【类型】下拉列表框中选择“Contact”选项，【参照】下拉列表框中选择“Component－Component（元件元件结合）”选项；

（4）在3D模型中分布选择两元件，在【选取过滤公差】选项组中【Separation Distance】文本框中键入10，从其后的下拉列表框中选择“m”选项作为单位，在【Angle】文本框中键入5，点选【仅检查平曲面之间的接触】单选按钮；

（5）勾选【属性】选项组中【分割曲面】、【无穷大摩擦】复选框，对话框的设置内容如图7.112所示；



图7.110　“界面定义”对话框

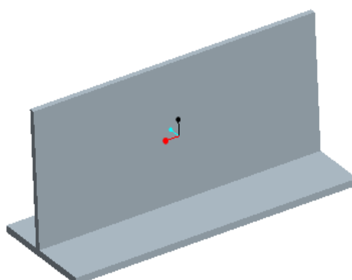


图7.111　创建界面模型

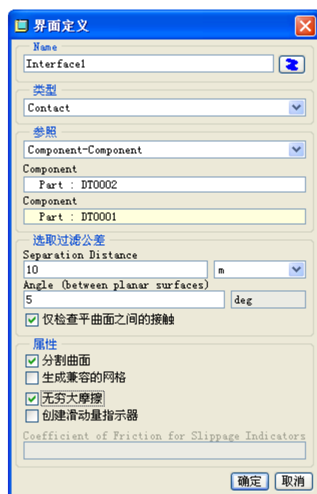


图7.112　“界面定义”对话框

（6）单击【确定】按钮，完成界面的创建，效果如图7.113所示。

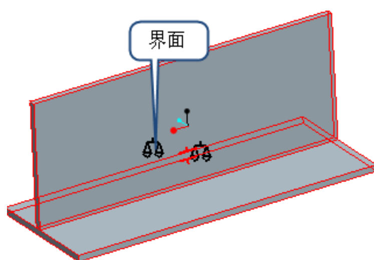


图7.113　创建的界面

7.5.2　创建焊接

【焊接】工具，是模拟连接两个很接近的板材，Mechanica将它们视为一体。单击“Mechanica对象”工具栏上的【焊接】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【连接（O）】→【焊接（W）】命令，系统弹出“焊接定义”对话框，如图7.114所示。

（1）【Name】文本框用于定义当前新建焊接的名称，系统默认为WeldConnect＋数

字，也可以自定义。单击其后的【颜色】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，可以编辑焊接在模型中显示的颜色。

（2）【类型】下拉列表框用于定义创建焊接的类型：End Weld（端面焊接）、Perimeter Weld（周边焊接）、Spot Weld（点焊接）、Pro/Weld Feature（焊缝）选项。

- ❑ End Weld（端面焊接）：在组件模型中使用端焊接，可以用来连接 2 个弧形、倾斜或垂直的板材，如 L 形或 T 形，使用端焊，薄壳的网格面将由焊接的那一面延伸到基本板上。
- ❑ Perimeter Weld（周边焊接）：在组件模型中使用周边焊接，可以连接平行的板材。使用周边焊接，一串面将沿着基本板和焊接相接的焊接边，自动创建。
- ❑ Spot Weld（点焊接）：使用点焊可以用来在指定的基准点上连接 2 块平行的面。Mechanica 将使用 1 个模仿点焊接形成的圆柱体来连接两面。
- ❑ Pro/Weld Feature（焊缝）：表示使用焊接模块中创建的焊接特征连接梁元件。

（3）【焊接焊缝类型】选项组用于定义端面焊接类型：Extend Single to Single（单曲面伸到单曲面）、Extend Many to Single（单曲面伸到多曲面）、Extend Single to Many（多曲面延伸到单曲面）3 种，该选项仅适用于端面焊接。

（4）【参照】选项组用于定义创建焊接的参照曲面或焊接特征。

（5）【属性】选项组用于定义创建的不同焊接形式下的属性参数。根据选择类型不同，该选项组中的内容不尽相同，如图 7.115 所示。



图 7.114　“焊接定义”对话框

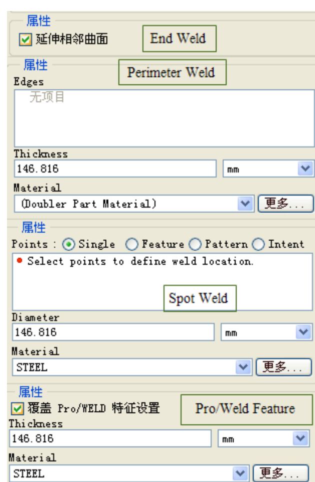


图 7.115　【属性】选项组

- ❑ End Weld（端面焊接）：勾选【延伸相邻曲面】复选框，表示选择的曲面将延伸到相邻曲面。
- ❑ Perimeter Weld（周边焊接）：定义周边曲线，在【Tickness】文本框中设置焊缝厚度，其后下拉列表框中选择厚度单位，【Material】下拉列表框中选择焊接材料，也可以单击其后的【更多】按钮，添加更多的焊接材料。

- Spot Weld（点焊接）：定义各种类型的点，选择【Single】单选按钮选择表示单个点；选择【Feature】单选按钮表示选择点特征；选择【Pattern】单选按钮表示选择点模型。
- Pro/Weld Feature（焊缝）：勾选【覆盖 Pro/WELD 特征设置】复选框，表示使用 Mechanica 中的焊接特征覆盖掉焊接模块中创建的焊接特征，在【Tickness】文本框中设置焊缝厚度，其后下拉列表框中选择厚度单位，【Material】下拉列表框中选择焊接材料，也可以单击其后的【更多】按钮，添加更多的焊接材料。

下面以如图 7.116 所示钢板焊接为例，讲解【焊接】工具的使用方法。

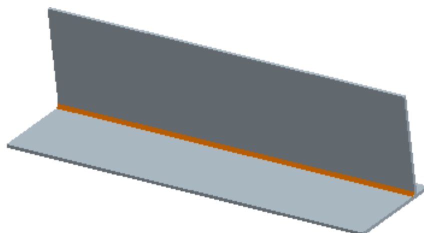


图 7.116　焊接模型

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 H，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入装配件设计平台。

（3）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，选择元件 DT0001.prt 加载在模型中，在控制面板中选择“固定”选项，单击其后的【完成】按钮，完成元件 1 的装配。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，选择元件 DT0001.prt 加载在模型中，在控制面板中选择“配对、对齐”选项，并设置其相应的参数，单击其后的【完成】按钮，完成元件 2 的装配。

（5）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【焊接（W）】命令，进入焊接设计平台，单击“焊接特征”工具栏上的【角焊缝】工具按钮，在 3D 中选择 2 个焊接面，如图 7.117 所示。

（6）在控制面板中角焊缝选项组中设置焊角高为 10，单击其后的【完成】按钮，完成焊接设计，效果如图 7.118 所示。

（7）选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（8）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【焊接】工具按钮，或选择菜单栏中的【插

入（I）】→【连接（O）】→【焊接（W）】命令，系统弹出“焊接定义”对话框。

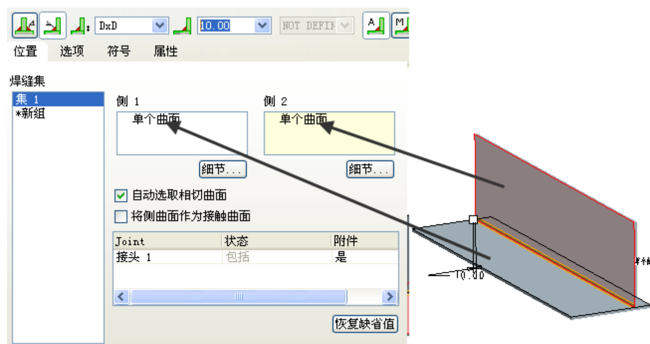


图 7.117　焊接设置

（9）在【类型】下拉列表框中选择“Pro/weld Feature”选项，在 3D 模型中选择在焊接模块中创建的焊接特征。

（10）勾选【覆盖 Pro/WELD 特征配置】复选框，在【Thickness】文本框中键入 10，选择其后下拉列表框中的“mm”单位选项，在【Material】下拉列表框中选择“STEEL”选项。

（11）单击【确定】按钮，完成焊接连接的创建，效果如图 7.119 所示。

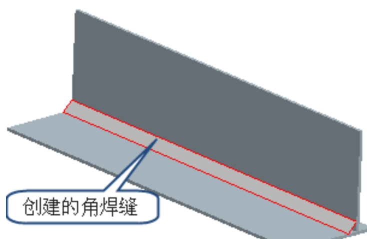


图 7.118　创建的角焊缝

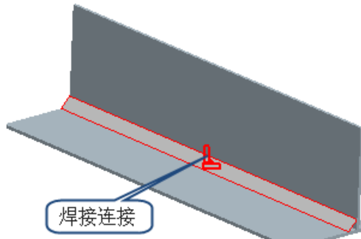


图 7.119　焊接连接

7.5.3　创建刚性连接

【刚性连接】工具，是通过选取两对象的点、线、面创建之间的刚性连接。它有两种边，即相依边和独立边，独立边将处理一个在相依边点的结点运动。任何在相依边的移动都是由独立边的移动决定的。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【刚性连接】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【连接（O）】→【刚性连接（R）】命令，系统弹出“刚性连接定义”对话框，如图 7.120 所示。

（1）【Name】文本框用于定义新建刚性连接的名称，系统默认为 RigidLink＋数字，也可以自定义。

（2）【类型】下拉列表框用于定义创建刚性连接的类型：Simple（简单）、Advanced（高级）。

- 选择“Simple（简单）”选项，只需在参照中设置刚性连接的点、线、面参数。
- 选择“Advanced（高级）”选项，在【独立侧】选项组中定义独立侧的连接点，在【从属侧】下拉列表框中选择从动侧连接 Point（点）、Edges/Curves（边线）、Surfaces（面），根据选择的不同，在其下有更多单选按钮，其内容如下所述：点选【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；点选【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；点选【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；点选【Single】单选按钮选择表示单个点；点选【Feature】单选按钮表示选择点特征；点选【Pattern】单选按钮表示选择点模型。
- 在【坐标系】选项组中定义点、线、面的参照坐标系，点选【World（系统全局）】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS，点选【Selected（选择自定义）】单选按钮，选择系统坐标系作为载荷参照对象。
- 【自由度】选项组用于选择控制和固定 6 个自由度，勾选【Tx、Ty、Tz】复选框表示释放沿 X、Y、Z 轴的移动自由度，勾选【Rx、Ry、Rz】复选框表示释放沿 X、Y、Z 轴的旋转自由度。



图 7.120 “刚性连接定义”对话框

下面以图 7.121 所示图形为例，讲解【刚性连接】工具的使用方法：

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【组件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 I，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中列表框中选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入装配件设计平台。

（3）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，选择元件 001.prt 加载在模型中，在控制面板中选择“固定”选项，单击其后的【完成】按钮，完成元件 1 的装配。

（4）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，选择元件 001.prt 加载在模型中，在控制面板中选择“配对、对齐”选项，并设置其相应的参数，单击其后的【完成】按钮，完成元件 2 的装配。

（5）选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【刚性连接】工具按钮，或选择【插入（I）】→【连接（O）】→【刚性连接（R）】命令，系统弹出“刚性连接定义”对话框。

（7）在【类型】下拉列表框中选择“Simple（简单）”选项，按<Ctrl>键，在 3D 模型中选择圆孔内表面，如图 7.122 所示。

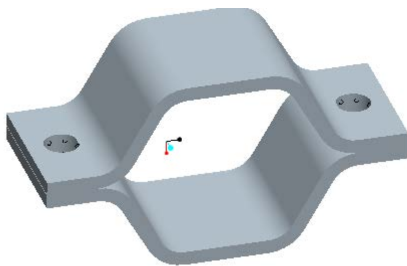


图 7.121　刚性连接对象

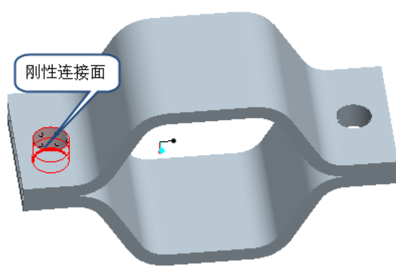


图 7.122　刚性连接面

（8）单击【确定】按钮，完成刚性连接的创建，效果如图 7.123 所示。

（9）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【刚性连接】工具按钮，或选择【插入（I）】→【连接（O）】→【刚性连接（R）】命令，系统弹出“刚性连接定义”对话框。

（10）在【类型】下拉列表框中选择“Advanced（高级）”选项，在 3D 模型中选择元件两端点，如图 7.124 所示。

（11）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成刚性连接的创建，效果如图 7.125 所示。

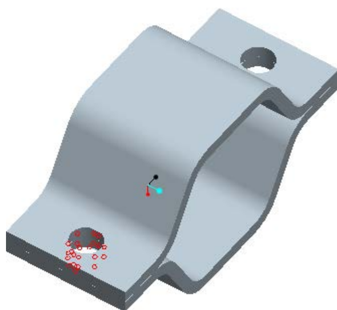


图 7.123　创建的刚性连接

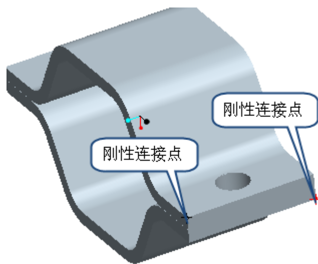


图 7.124　刚性连接点

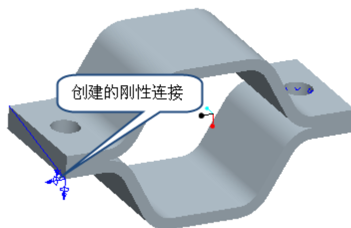


图 7.125　创建的刚性连接

7.5.4 创建受力连接

【受力连接】工具，是将一个来源结点上的质量和载荷，然后分配到一个集中的目标结点上。当需要模型中连结没有刚度连接的质量理想化模型时，受力连接的这些特征将非常有用。受力连接具有以下特征：

- ❑ 受力连接以平衡方式分配质量和载荷。
- ❑ 受力连接将控制通过分配到目标结点上的全局群组上的自由度，使目标结点在指定方向移动。当计算载荷或质量分配时，将使用自由度来构建线性约束方程。
- ❑ 受力连接仅有一个从属结点，该点将跟随独立结点群组而运动，即任何一个从属结点的运动都是独立结点运动的反射。

单击“Mechanica 对象”工具栏上的【受力连接】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【连接（O)】→【受力连接（L)】命令，系统弹出“受力连接定义”对话框，如图 7.126 所示。

（1)【Name】文本框用于定义当前创建的受力连接名称，系统默认为 WeightedLink＋数字，也可以自定义。

（2)【独立侧】选项组用于定义当前新建受力连接的独立侧类型：Point、Edges/Curves、Surfaces。

- ❑ 根据选择的不同，其下选项也不同，如下所述：选择【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；选择【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；选择【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；选择【Single】单选按钮选择表示单个点；选择【Feature】单选按钮表示选择点特征；选择【Pattern】单选按钮表示选择点模型。
- ❑ 在【坐标系】选项组中定义点、线、面的参照坐标系，点选【World（系统全局）】单选按钮表示使用系统全局坐标系 WCS，点选【Selected（选择自定义）】单选按钮，选择系统坐标系作为载荷参照对象。
- ❑ 【自由度】选项组用于选择控制 X、Y、Z 轴的平移自由度，点选【Tx、Ty、Tz】复选框表示释放沿 X、Y、Z 轴的移动自由度。

（3)【从属侧】选项组用于定义当前创建的受力连接的从属侧，只能选择点定义从属侧。

下面以上例为例，讲解【受力连接】工具的使用方法。

（1）打开组件 I.asm，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【受力连接】工具按钮，或选择菜单栏中

的【插入（I)】→【连接（O)】→【受力连接（L)】命令，系统弹出“受力连接定义”对话框。

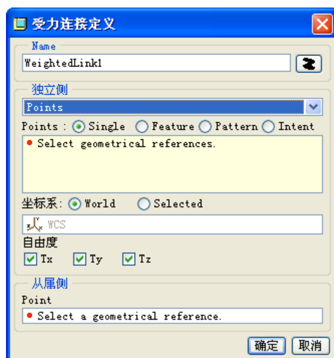


图 7.126　“受力连接定义”对话框

（3）在【独立侧】下拉列表框中选择“Surfaces”选项，按 Ctrl 键，在 3D 模型中选择元件 1 上表面，如图 7.127 所示。

（4）选中【从属侧】选项组中【Point】文本框，在 3D 模型中选择下表面中点，如图 7.128 所示。

（5）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成受力连接的创建，效果如图 7.129 所示。

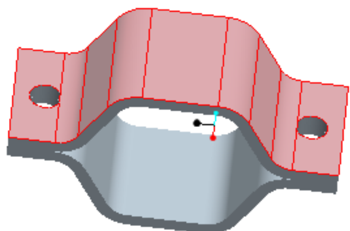


图 7.127　受力连接独立侧

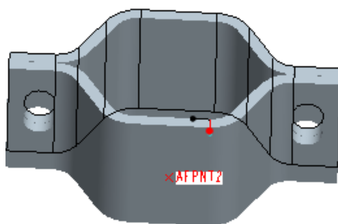


图 7.128　受力连接从动侧

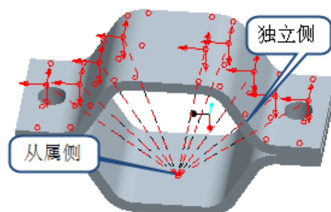


图 7.129　创建的受力连接

7.5.5　创建紧固件连接

【紧固件】工具，是在两个组件之间创建并且仿真螺栓连接。使用该工具，可以在组件以载荷途径模拟各个螺栓所承载的载荷量。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【紧固件】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【连接（O)】→【紧固件（F)】命令，系统弹出“紧固件连接定义”对话框，如图 7.130 所示。

（1）【Name】文本框用于定义当前进行紧固件连接名称，系统默认为 Fastener＋数字，也可以自定义。单击其后的【颜色】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在该对话框中编辑模型中紧固件的显示颜色。

（2）【紧固件类型】下拉列表框用于定义所创建的紧固件类型：Bolt（螺栓）、Screw

（螺母）。

（3）【参照】选项组用于定义当前新建紧固件连接的参照，只有两种类型：Point－Point、Edge－Edge。

（4）【类型】选项组用于定义当前新建紧固件连接的创建类型：Simple（简单）、Advanced（高级）。

❑ 选择“Simple（简单）”选项，表示 Mechanica 将使用指定的材料和轴直径来创建紧固件连接。

❑ 选择“Advanced（高级）”选项，表示可以根据材料和轴直径，或弹簧性质来创建紧固件连接，还可以指定紧固件是否包含剪力、约束旋转载荷、预紧载荷等。

（5）【属性】选项组用于定义当前新建紧固件连接的属性参数，根据类型的选项，该选项组中的内容不尽相同，如图 7.131 所示。

❑ 【Diameter（直径）】文本框用于定义当前新建紧固件连接的紧固件直径，其后的下拉列表框用于选择直径单位。

❑ 【Material（材料）】下拉列表框用于定义当前进行紧固件连接的紧固件材料，单击其后的【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，在对话框中选择所需材料添加到模型中。

❑ 【刚度】选项组用于定义当前创建的紧固件连接的紧固件刚度类型：Using diameter and material（使用直径和材料）、Using Spring stiffness property（使用弹簧属性）。

❑ 【Spring property（弹簧属性）】选项组用于定义紧固件使用的弹簧属性，在下拉列表框中选择所需弹簧属性，也可以单击其后【更多】按钮，为模型中添加新的弹簧属性或修改已有弹簧属性。

❑ 勾选【固定旋转】复选框，表示当前新建的紧固件连接的紧固件具有固定旋转自由度。

❑ 勾选【承载剪应力】复选框，表示当前新建的紧固件连接要承载剪应力载荷。

❑ 勾选【包括预加载荷】复选框，表示当前新建紧固件连接承受预紧力载荷。



图 7.130 “紧固件定义”对话框



图 7.131 【属性】选项组

下面以上例为例，讲解【紧固件连接】工具的使用方法。

（1）打开组件 I.asm，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【紧固件】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【连接（O）】→【紧固件（F）】命令，系统弹出“紧固件连接定义”对话框。

（3）在【紧固件类型】下拉列表框中选择“Bolt”选项，【参照】下拉列表框中选择“Edge－Edge”选项，在 2D 模型中选择孔的上下边线，如图 7.132 所示。

（4）在【类型】下拉列表框中选择“Simple”选项，【属性】选项组中【Diameter（直径）】文本框中键入 25，在其后的下拉列表框中选择“mm”选项，单击【Material（材料）】文本框后的【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，将库中的材料“STEEL”添加到模型中，单击【确定】按钮，返回“紧固件定义”对话框，单击【确定】按钮，完成紧固件连接的创建，效果如图 7.133 所示。

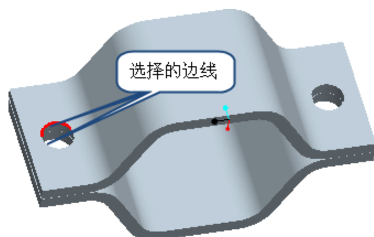


图 7.132　选择的边线

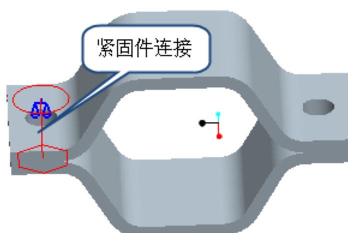


图 7.133　创建的紧固件连接

7.6　材料

为对模型进行仿真分析，需要对模型指定一系列的物理属性，如密度、刚度、比热、表面粗糙度等。在使用 Mechanica 进行分析之前，必须先定义模型的材料特征并分配于模型。

7.6.1　定义材料

【材料】工具，是对模型中添加库中材料、新建材料、修改已有材料属性的工具。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料（L）】命令，系统弹出“材料”对话框，如图 7.134 所示。

1．新建材料

单击工具栏上的【新建】按钮，或选择菜单栏中的【文件】→【新建】命令，系统弹出“材料定义”对话框，如图 7.135 所示，该对话框的内容如下所示：

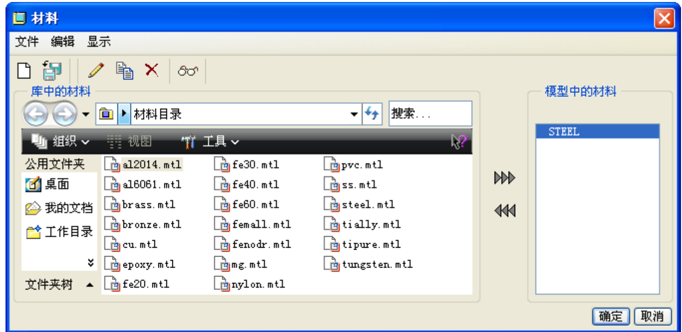


图 7.134 “材料”对话框



图 7.135 “材料定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义当前新建材料名称，系统默认为 MATERIAL＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建材料的简要概述。

（3）【密度】文本框用于定义新建材料的密度，其后下拉列表框用于选择密度的单位。

（4）【结构】选项卡用于定义新建材料的结构参数。在【对称】下拉列表框中选择定义材料对称形：

- 选择“各向同性的”选项，需要设置应力－应变关系、泊松比、杨氏模量、热膨胀系数、机构阻尼、材料极限、失效准则、疲劳等技术参数。
- 选择“正交性”选项，需要设置杨氏模量、泊松比、剪切模量、热扩散系数等技术参数。
- 选择“横向等向性”选项，需要设置杨氏模量、泊松比、剪切模量、热扩散系数、材料极限、压缩极限应力、剪切极限强度、正常化的 Tsai－Wu 交互词汇、失效准则等技

术参数。

❑ 杨氏模量又称为弹性模量。对于一定的材料来说，杨氏模量是一个常数。它是应力除以应变所得。

❑ 泊松比是物体受到侧向应变（物体拉伸方向的应变）和物体应变之间的比值。对于大多数材料，此值一般为 0.25～0.33 之间。

❑ 热膨胀系数：大多数材料受热时膨胀，冷却时收缩。由于温度变化 1℃所引起的应变为已知的热膨胀系数。

（5）【热】选项卡用于定义新建材料的比热和热导率。

（6）【其他】选项卡用于定义新建材料的钣金件属性、曲面属性、细节化等材料技术参数。

（7）【外观】选项卡用于定义当前新建材料的外观显示。

2. 编辑属性

选择【库中材料】、【模型中的材料】列表框中的材料，单击工具栏上的【编辑选中的材料属性】工具按钮，或选择菜单栏中的【编辑】→【属性】命令，系统弹出“材料定义”对话框，在该对话框中对材料的各种属性参数值进行更改。

3. 添加材料

选中【库中的材料】列表框中所需要的材料，单击【向右添加】按钮▶▶▶，将选中的材料添加到模型中；选中【模型中的材料】列表框中的材料，单击【向左添加】按钮◀◀◀，将选中的材料添加到材料库中。

7.6.2　创建材料方向

【材料方向】命令，是对零部件、曲面创建、修改材料方向。选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料方向（A）】命令，系统弹出“材料方向”对话框，如图 7.136 所示。

（1）列表框显示当前模型中的材料方向的名称和类型。

（2）【说明】文本框显示当前在列表框中选中的且高亮显示的材料的简要概述。

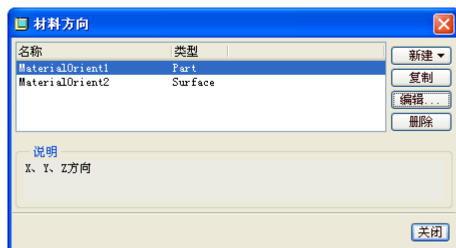


图 7.136　“材料方向”对话框

（3）【新建】按钮用于新建零件、曲面的材料方向。单击该按钮，系统弹出下拉菜

单，在菜单中选中创建材料方向的类型：

- ❑ 选择“零件”选项，系统弹出“材料方向定义”对话框，如图 7.137 所示，【名称】文本框用于定义新建材料方向的名称，系统默认为 MaterialOrient＋数字，也可以自定义；【说明】文本框定义新建材料方向的简要概述；【相对于】选项组用于定义材料方向的参照坐标系，单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择 WCS 坐标系；【材料方向】选项组用于定义材料方向，在 1、2、3 选项中选中 X 或 Y 或 Z 按钮，点选【旋转参照】单选按钮，在其下的文本框中设置相对于选中的 X、Y、Z 轴的旋转角度。
- ❑ 选择“曲面”选项，系统弹出“材料定义”对话框，如图 7.138 所示，【名称】文本框用于定义当前新建曲面材料方向的名称，系统默认为 MaterialOrient＋数字，也可以自定义；【说明】文本框用于定义当前新建曲面材料方向的简要概述；【相对于】下拉列表框用于定义材料方向的参照对象：参照的坐标系、第一参数化方向、第二参数化方向、投影的向量，在其下的选项中定义相应的技术参数；【材料方向】选项组用于定义材料方向相对于曲面的夹角。



图 7.137 “材料方向定义”对话框



图 7.138 “材料方向定义”对话框

7.6.3 分配材料

【材料分配】工具，是将库中的材料分配给模型。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，如图 7.139 所示。

（1）【Name】文本框用于定义当前添加到模型中材料的名称，系统默认为 MaterialAssign＋数字，也可以自定义。单击其后的【颜色】按钮，系统弹出“颜色编辑器”对话框，在该对话框中编辑模型中材料的显示颜色。

（2）【参照】选项组用于定义材料分配给的模型。在其下拉列表框中选择参照对象：Components（部件）、Volumes（体积）。

（3）【属性】选项组用于定义当前分配给模型的材料以及材料方向。在下拉列表框中选择加载在模型中的材料和材料方向，单击其后【更多】按钮，系统弹出“材料”对

话框或“材料方向”对话框，在对话框中进行新建、修改材料或材料方向。



图 7.139　“材料指定”对话框

下面以前面讲解的例子为例，讲解【分配材料】工具的使用方法：

（1）打开模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框。

（3）单击【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“STELL.mtl”选项，将其加载到【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，“STEEL.mtl”添加到【Material】下拉列表框中。

（4）单击【Material Orientation】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料方向”对话框，单击【新建】按钮，系统弹出“材料方向定义”对话框。

（5）单击【坐标系】选项组中【选取】按钮，在 3D 模型中选择当前坐标系，返回“材料方向定义”对话框，选择【1】选项组中【X】坐标系，选择【2】选项组中【Y】坐标系，选择【3】选项组中【Z】坐标系，单击【确定】按钮，返回“材料方向”对话框，单击【确定】按钮，该材料方向添加到【Material Orientation】列表框中。

（6）单击【确定】按钮，材料添加到模型中，如图 7.140 所示。

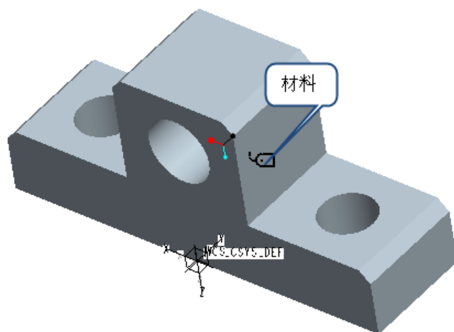


图 7.140　添加的材料

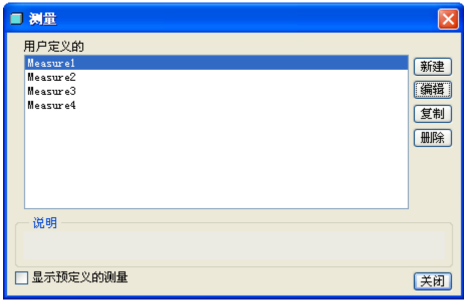
7.7 创建模拟测量

模拟测量通常会被应用到某些分析中，单击“Mechanica 对象”工具栏上的【模拟测量】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【模拟测量（A）】命令，系统弹出“测量”对话框，如图 7.141 所示。

（1）【用户定义的】列表框显示用户自定义的模拟测量项。

（2）【说明】文本框显示在列表框中选中的模拟测量项的简要概述。

（3）点选【显示预定义的测量】单选按钮，对话框展开预定义对话框，如图 7.142 所示，列表框中列出系统预先定义好的测量项。



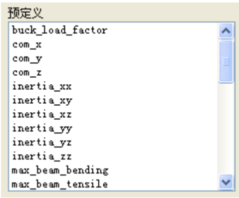
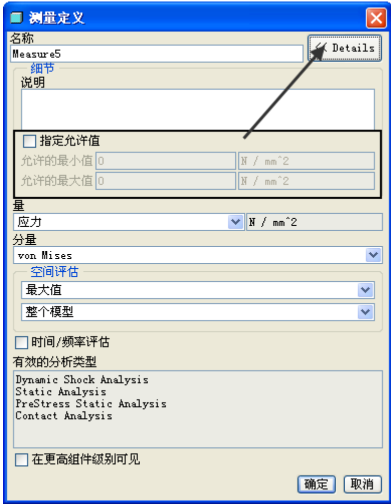
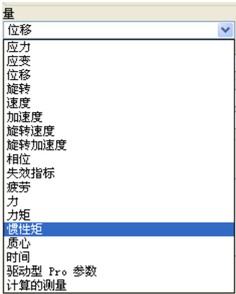


图 7.141 “测量”对话框　　图 7.142 预定义

（4）单击【新建】按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 7.143 所示：

❑ 【名称】文本框用于定义当前新建模拟测量的名称，系统默认为 Measure＋数字，也可以自定义。单击其后的【Details】按钮，对话框展开【指定允许值】设置选项，如图 7.143 所示，在这里设置允许的最大值和最小值。





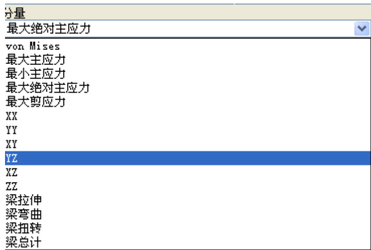


图 7.143 “测量定”义对话框　　图 7.144 【量】下拉列表框　　图 7.145 【分量】下拉列表框

- 【说明】文本框用于定义当前新建模拟测量的简要概述。
- 【量】下拉列表框用于定义测量项，如应力、应变、位移、速度、加速度等。如图 7.144 所示，【分量】选项组用于定义指定测量项的具体测量内容，如选择“应力”选项，分量的下拉列表框列出所有应力的测量内容，如图 7.145 所示，根据选择的内容不同，需要在下面的选项中设置各种参数。
- 【有效的分析类型】文本框显示选中的测量内容能够应用的分析类型。

7.8　网格划分

网格划分是有限元分析的核心。Pro/Mechanica 的集成模式中使用自动网格划分（AutoGEM）。

1．网格控制

【控制】工具，是创建模型网格的工具。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【控制】工具按钮，或选择菜单栏中的【AutoGEM】→【控制（O）】命令，系统弹出“AutoGEM 控制”对话框，如图 7.146 所示。



图 7.146　“AutoGEM 控制”对话框

（1）【Name】文本框用于定义当前新建网格控制的名称，系统默认为 AutoGEMControl＋数字，也可以自定义。

（2）【类型】下拉列表框用于选择新建网格控制的类型：Edge Distribution（边线分配）、Minimum Edge length（最小边线长度）、Isolate for Exclusion（排除隔离）、Maximum Element Site（最大的元素区域）、Edge Length by Curvature（通过划分边线）、Hard Point（加强点）、Hard Curve（加强曲线）。

（3）【参照】选项组用于定义新建网格控制的参照，根据选择的网格控制类型不同，选项也不同。

（4）【属性】选项组用于定义新建网格控制类型的属性参数，根据选择的网格控制类型不同，设置的参数内容也不同。

下面以本章中前面的例子 b.prt 元件为例讲解【控制】工具的使用方法：

（1）打开模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【控制】工具按钮，或选择菜单栏中的【AutoGEM】→【控制（O）】命令，系统弹出“AutoGEM 控制”对话框。

（3）在【类型】下拉列表框中选择“Maximum Element Site（最大的元素区域）”选项，在 3D 模型中选择上表面，如图 7.147 所示，该曲面将添加到列表框中。

（4）在【元素尺寸】文本框中键入 5，选择其后下拉列表框中“mm”选项，单击【确定】按钮，完成网格控制的创建，效果如图 7.148 所示。

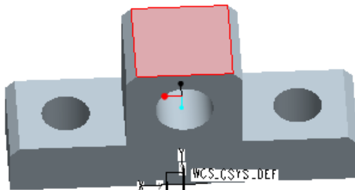


图 7.147　选取的上表面

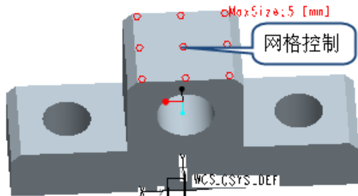


图 7.148　创建的网格控制

2．创建网格

【创建】命令，是根据网格控制和网格设置在模型表面生成网格的工具。选择菜单栏中的【AutoGEM】→【创建（C）】命令，系统对模型按照网格设置和控制信息计算生成网格，弹出“AutoGEM 摘要”对话框，如图 7.149 所示，和“Diagnostics：AutoGEM（网格诊断）”对话框，如图 7.150 所示。



图 7.149　“AutoGEM 摘要”对话框

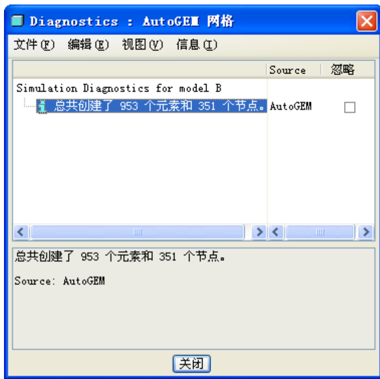


图 7.150　“网格诊断”对话框

- ❑ “AutoGEM 摘要”对话框中显示创建的图元数量、满足的标准以及使用时间，如图 7.149 所示生成了 631 条边、831 个面，满足的标准为：最小角度 5.09，最大角度 148.39，表面最大比率 8.28，使用时间 0.10min，CPU 计算时间 0.05min。
- ❑ Diagnostics：“AutoGEM（网格诊断）”对话框显示在生成网格过程中诊断的结

果，如图 7.150 所示生成 953 个元素和 351 个节点。

❑ 单击【关闭】按钮，将“AutoGEM 摘要”对话框和 Diagnostics：“AutoGEM（网格诊断）”对话框关闭，返回“AutoGEM”对话框，如图 7.151 所示。

（1）【文件（F）】下拉菜单可以加载已有的网格文件、从研究复制网格、保存现有的网格以及退出等功能。

（2）【信息】下拉菜单能够查询网格生成的信息，如模型摘要、边界边、边界表面、独立元素、AutoGEM 日志以及验证网格。

（3）【AutoGEM 参照】选项组用于创建新的网格以及删除已有的网格，在下拉列表框中选择创建网格类型：All with Properties、Volume、Surface、Curves，然后单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择所需对象，在选取对话框中，单击【确定】按钮返回“AutoGEM”对话框，单击【创建】按钮，新的网格就开始创建，经过计算机计算生成网格以及摘要、诊断等；在下拉列表框选择删除的网格类型，在 3D 模型中选择已有的网格，单击【删除】按钮，网格就被删除掉了。

下面以上一节的例子为例，继续对其进行创建网格，具体操作步骤如下：

（1）打开上一节创建好网格控制的模型 b.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）选择菜单栏中的【AutoGEM】→【创建（C）】命令，系统对模型按照网格设置和控制信息计算生成网格，弹出“AutoGEM 摘要”对话框和“网格诊断”对话框。

（3）关闭“AutoGEM 摘要”对话框和“网格诊断”对话框，返回“AutoGEM”对话框，效果如图 7.152 所示。可见使用网格控制的网格与系统默认的生成的网格不同，网格控制起到对网格控制的作用。

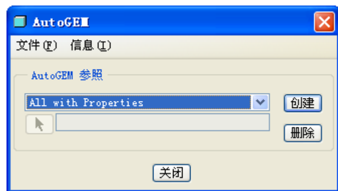


图 7.151　“AutoGEM”对话框

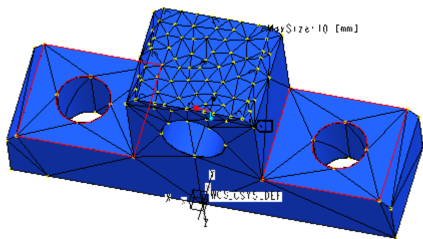


图 7.152　生成的网格

（4）在“AutoGEM”对话框中，单击【关闭】按钮，系统提示是否保存网格，选择“是”保存网格，准备分析使用。

3．网格设置

【设置】命令，是对生成的网格、生成方法以及生成的元素类型进行设置的工具。选择菜单栏中的【AutoGEM】→【设置（S）】命令，系统弹出“AutoGEM 设置”对话框，如图 7.153 所示。

（1）【隔离壳和 2D 实体】选项组用于定义生成网格所述类型：结构、热。

- 在下拉列表框中选择“结构”选项，可以选择【凹角】、【点载荷】、【点约束】复选框。
- 在下拉列表框中选择“热”选项，可以选择【凹角】、【点热载荷】、【点规定温度】、【点对流条件】复选框。

（2）【设置】选项卡用于设置生成网格的各种选项，如生成插入点、移除和删除现有点、修改和删除现有元素、根据需要创建连接、创建粘河元素等选项，在【元素类型】选项组中定义生成 shells 的类型：四边形，三角形两种；实体类型：四面体、锲，四面体、砖，锲，四面体 3 种。

（3）【限制】选项卡用于编辑和修改允许的角度、最大长度比、最大边翻转。单击【缺省】按钮，系统将各种参数恢复到系统默认值。

4. 审阅几何

选择菜单栏中的【AutoGEM】→【审阅几何（G）】命令，系统弹出“模拟几何”对话框，如图 7.154 所示。该对话框用于设置几何和连接的几何元素在模型中的显示颜色。

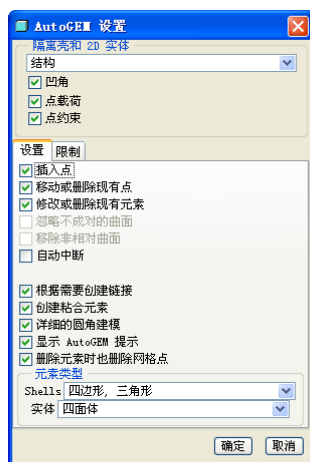


图 7.153　“AutoGEM 设置”对话框



图 7.154　“模拟几何”对话框

5. 设置几何公差

选择菜单栏中的【AutoGEM】→【几何公差（G）】命令，系统“几何公差设置”对话框，如图 7.155 所示。该对话框用于设置最下边长、最小曲面尺寸、最小尖角、合并公差等网格参数。

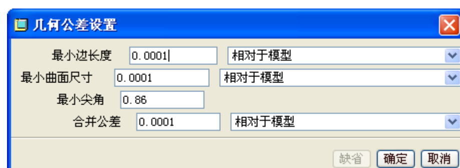


图 7.155　“几何公差设置”对话框

7.9　创建曲面区域和体积块区域

7.9.1　创建曲面区域

【曲面区域】工具，是对曲面进行分割的工具，分割后有利于进行 Mechanica 接触分析。单击“Mechanica 对象”工具栏上的【曲面区域】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【曲面区域（U)】命令，选择曲面，在控制面板中显示分割曲面控制项，如图 7.156 所示。

（1）【曲面】文本框用于显示所要分割的曲面，选中该文本框，在 3D 模型中选择曲面，该曲面就被添加到文本框中。单击【细节】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，如图 7.157 所示。

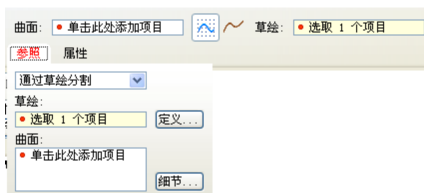


图 7.156　控制面板

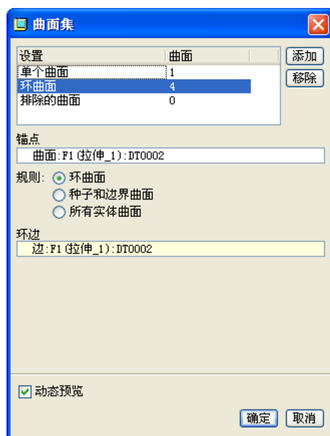


图 7.157　“曲面集”对话框

- 【添加】按钮，在 3D 模型中选择需要添加的曲面，选中的曲面就添加到列表框中。
- 【移除】按钮用于将在列表框中选中的曲面移除，即取消选取。
- 根据在列表框中选中的曲面类型不同，其下方的选项也不同，图中为选中环形曲面时的选项。

（2）在【参照】选项卡中下拉列表框中选择分割曲面的方法：

- 选中“通过草图绘分割”选项，单击草绘文本框后的【定义】按钮，系统弹出“草绘”对话框，在 3D 模型中选择草绘平面，单击【草绘】按钮，系统进入草绘工作台，绘制要分割曲面的草图轮廓；
- 选中“通过链分割”选项，在 3D 模型中选择曲线链。单击其后的【细节】按钮，系统弹出“链”对话框，如图 7.158 所示，该对话框用于对链进行设置，包括链参照、长

度调整、方向等参数。

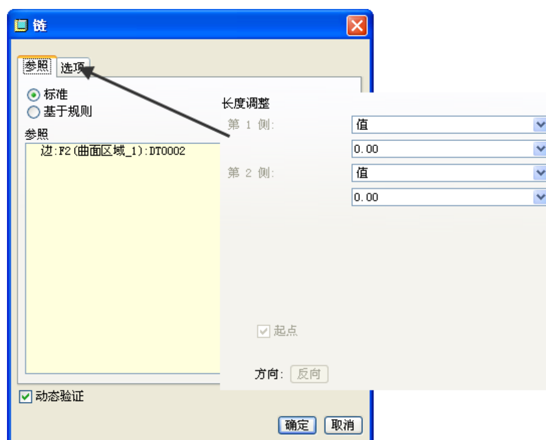


图 7.158　“链”对话框

（3）【属性】选项卡用于定义当前曲面区域的名称。

下面以前面讲解模型 a.prt 为例，讲解【曲面区域】工具的使用方法。

（1）打开模型 a.prt，选择菜单栏中的【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【曲面区域】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【曲面区域（U）】命令，控制面板中显示分割曲面控制项。

（3）单击【参照】选项卡，选择下拉列表框中的“通过草绘分割”选项，单击【草绘】文本框后的【定义】按钮，系统弹出“草绘”对话框。

（4）在 3D 模型中选择模型的上表面，单击“草绘”对话框中的【草绘】按钮，进入草图工作台。

（5）在草绘区绘制如图 7.159 所示轮廓曲线，单击“草绘器工具”工具栏上的【完成】按钮 ✔，返回草绘控制面板。

（6）单击【参照】选项卡中【曲面】文本框，在 3D 模型中选择上表面，单击控制面板中【完成】按钮 ✔，完成曲面区域的创建，效果如图 7.160 所示。

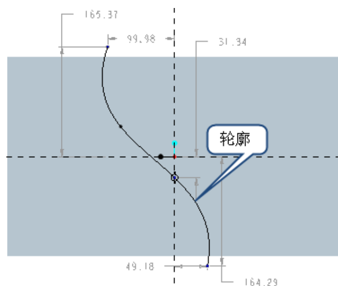


图 7.159　绘制的轮廓曲线

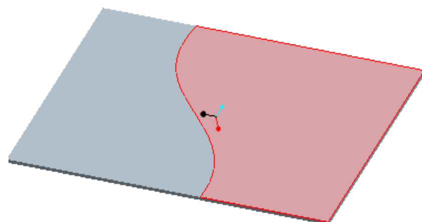


图 7.160　分割的曲面区域

7.9.2 创建体积

【体积】工具栏是在模型上分割体积用于进行分析的工具栏。该工具栏包含拉伸、旋转、扫描、混合、可变截面扫描、扫描混合、螺旋扫描等工具。

1．拉伸

【拉伸】工具，是通过对轮廓曲线的拉伸生成体积的工具。

下面以四方体上创建一个圆柱体积为例，讲解【拉伸】工具的使用方法。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 J，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制 350×350 矩形，如图 7.161 所示，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 350，如图 7.162 所示，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

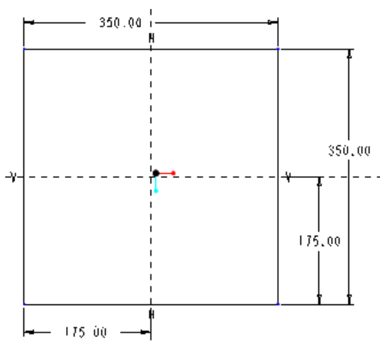


图 7.161　矩形

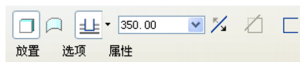


图 7.162　厚度设置

（5）选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（6）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【拉伸】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【体积块区域（V）】→【拉伸（E）】命令，控制面板区域显示拉伸控制选项。

（7）单击【放置】选项卡中【草绘】文本框后的【定义】按钮，系统弹出“草绘”对话框。

（8）在 3D 模型中选择上表面，单击“草绘”对话框中的【草绘】按钮，进入草绘工作台，绘制一个 Ø200 的圆，如图 7.163 所示。

（9）单击“草绘器工具”工具栏上的【完成】按钮✔，返回草绘控制面板。

（10）在控制面板中设置深度为 150，单击其后的【完成】按钮✔，完成圆柱体积的创建，效果如图 7.164 所示。

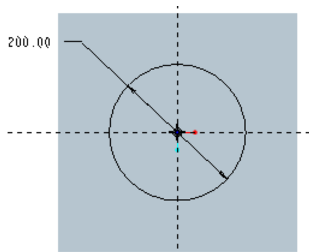


图 7.163　草绘轮廓

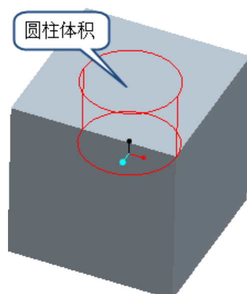


图 7.164　创建的圆柱体积

2．旋转

【旋转】工具，是将轮廓围绕旋转轴旋转形成的体积的工具。

下面以前面讲解的例子为例，讲解【旋转】工具的使用方法。

（1）打开模型 J.prt，选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【旋转】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【体积块区域（V）】→【旋转（R）】命令，控制面板区域显示旋转控制选项。

（3）单击【放置】选项卡中【草绘】文本框后的【定义】按钮，系统弹出“草绘”对话框。

（4）在 3D 模型中选择 FRONT 面，单击“草绘”对话框中的【草绘】按钮，进入草绘工作台，绘制轴线和封闭轮廓曲线，如图 7.165 所示。

（5）单击“草绘器工具”工具栏上的【完成】按钮✔，返回草绘控制面板。

（6）单击草绘控制面板中的【完成】按钮✔，完成旋转体体积的创建，效果如图 7.166 所示。

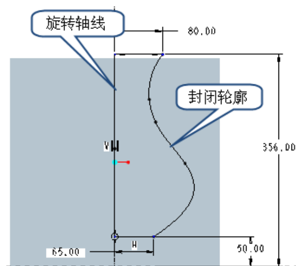


图 7.165　绘制的轮廓

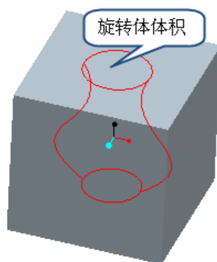


图 7.166　旋转体体积

3．扫描

【扫描】工具，是截面轮廓曲线沿轨迹曲线运动生成的体积块的工具。

下面以 J.prt 为例，讲解【扫描】工具的使用方法。

（1）打开模型 J.prt，选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【扫描】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【体积块区域（V）】→【扫描（S）】命令，系统弹出“体积块区域定义”对话框，如图 7.167 所示。

（3）在对话框中，双击轨迹，展开菜单管理器，如图 7.168 所示，在 3D 模型中选择草绘平面 RIGHT，在菜单管理器中选择默认方向，进入草图绘制平台。

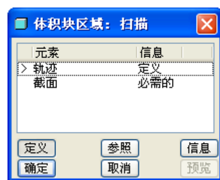


图 7.167　“体积块区域”对话框

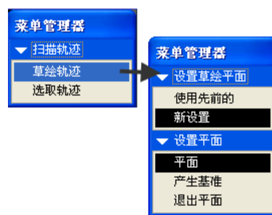


图 7.168　菜单管理器

（4）在草绘平台中绘制如图 7.169 所示扫描轨迹曲线，单击“草绘器工具”工具栏上的【完成】按钮✔，完成草图轨迹的创建，在菜单管理器中选择自由端，单击【完成】按钮，系统自动进入截面草绘平台。

（5）绘制如图 7.170 所示截面轮廓，单击“草绘器工具”工具栏上的【完成】按钮✔，完成截面轮廓的创建，返回“体积块区域”对话框。

（6）单击【确定】按钮，完成扫描体积块的创建，效果如图 7.171 所示。

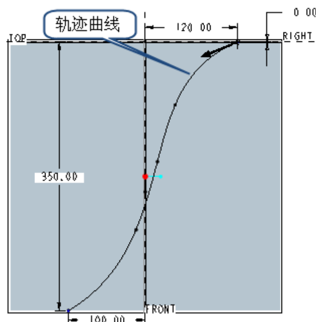


图 7.169　扫描轨迹曲线

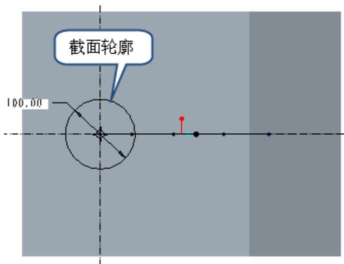


图 7.170　截面轮廓

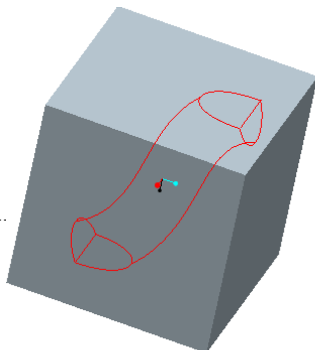


图 7.171　扫描体积块

4．混和

【混合】工具，是通过两个以上不同截面拉伸生成的体积块的工具。

下面以 J.prt 为例讲解【混合】工具的使用方法。

（1）打开模型 J.prt，选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析模块。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【混合】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【体积块区域（V）】→【混合（B）】命令，系统弹出菜单管理器，如图 7.172 所示，单击【完成】按钮，系统弹出“体积块区域”对话框，如图 7.173 所示，在菜单管理器中选择“光滑”选项，单击【完成】按钮。

（3）在 3D 模型中选择前表面，单击菜单管理器中的【缺省】按钮，系统自动进入草绘平台。



图 7.172　菜单管理器

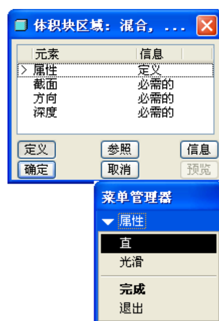


图 7.173　“体积块区域”对话框

（4）绘制如图 7.174 所示轮廓，选择菜单栏中的【草绘（S）】→【特征工具（U）】→【切换截面（T）】命令，绘制如图 7.175 所示轮廓，单击“草绘器工具”工具栏上的【完成】按钮 ✔，完成草图截面的创建。

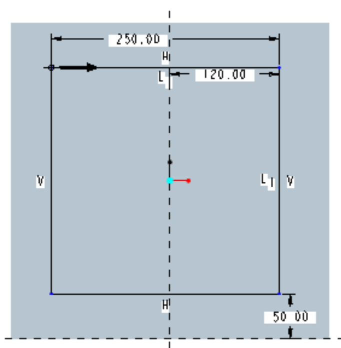


图 7.174　草绘轮廓

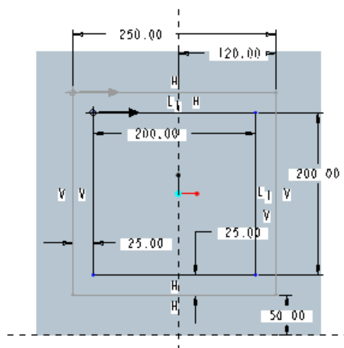


图 7.175　草绘轮廓

（5）在菜单管理器中，选择“盲孔”选项，单击【完成】按钮，系统弹出消息输入窗口，如图 7.176 所示，键入 200，单击【完成】按钮 ✔ ，完成拉伸长度的设置。

（6）单击“体积块区域“对话框中的【确定】按钮，完成混合体积块的创建，效果如图 7.177 所示。



图 7.176　消息输入窗口

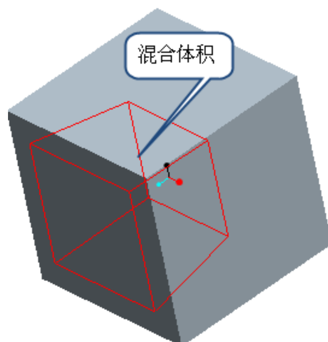


图 7.177　混合体积

7.10　显示控制

显示控制可以控制 Mechanica 中图标的显示。选择菜单栏中的【视图（V）】→【模型显示（U）】命令，系统弹出“模型显示“对话框，如图 7.178 所示。



图 7.178　“模型显示”对话框

（1）【设置】选项卡，用于设置控制图标的显示方式。

（2）【建模图元】选项卡，用于设置控制理想化以及连接图标的可见性。

（3）【载荷/约束】选项卡，用于设置控制约束和载荷图标的可见性。

（4）【设置可见性】选项卡，如图 7.179 所示，用于设置控制载荷集和约束集的显示。

（5）【网格】选项卡，如图 7.180 所示，用于设置控制网格的显示。

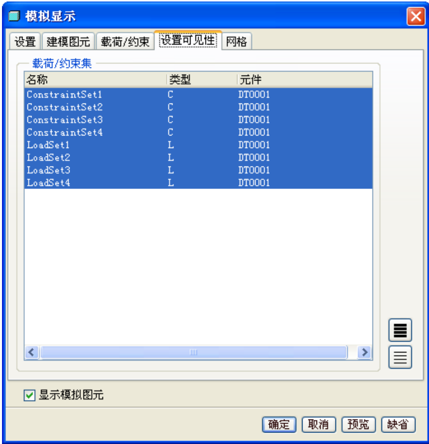


图 7.179 【设置可见性】选项卡

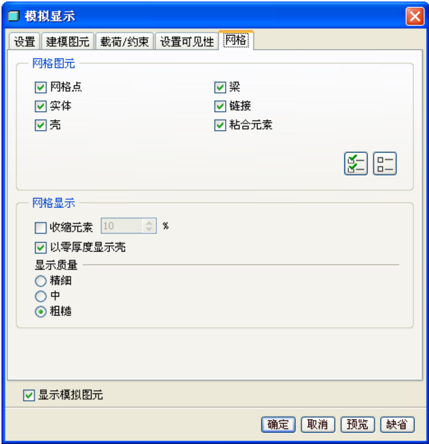


图 7.180 【网格】选项卡

第 8 章　结构分析



内容导航

通过第 7 章的学习，已经掌握如何定义材料、载荷、约束，以及理想化等建立模型的条件，来准备作结构分析。在本章中，将开始学习定义分析、运行它，以及显示结果。本章按照分析类型讲解结构分析的操作过程。

8.1　分析的类型

分析就是计算结构对周围环境所加上的条件反应。在完成对模型材料分配、理想化、约束、载荷等一系列设置后，就可以有针对性地建立所需的分析和研究。选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框，如图 8.1 所示。

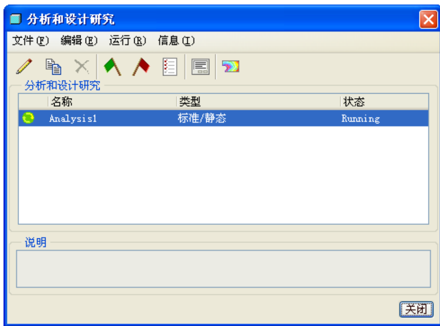


图 8.1　“分析和设计研究”对话框

（1）【文件（F）】菜单是新建各种分析命令的集合，如图 8.2 所示。该菜单包含了 Pro/Mechanica 结构提供 2 类共 10 种分析的类型以及 3 种设计研究，它们的作用如表 8.1 所示。

（2）【编辑（E）】菜单提供了对所选择的分析进行编辑、复制、删除功能。

（3）【运行（R）】菜单提供了开始运行分析、结束运行分析、重新启动运行分析、批处理、运行设置和储存结果等功能。选择【运行设置】命令，系统弹出“运行设置”对话框，如图 8.3 所示，该对话框对输出文件的目录和临时文件的目录、元素、输出文

件格式及求解器设置进行设置。

表 8.1　Mechanica 提供的分析类型

模组	分析类型	作用
结构	静态分析	计算模型上的变形、应力和应变，以响应指定的载荷和约束
	模态分析	计算模型上的自然频率和模式形式
	失稳分析	使用来自一个静态分析所决定的临界载荷以及几何上非线性变形和应力
	疲劳分析	使用来自静态分析计算所得到的疲劳载荷效果的结果
	预应力静态分析	使用来自一个静态分析中计算所得到的变形、应力和应变的结果
	预应力模态分析	使用来自模态分析计算所得到的自然频率和模式形式的结果
振动	动态时间分析	计算模型在不同时刻的位移、速度、加速度和应力，并以时间－载荷变化的方式来响应
	动态频率分析	计算模型在不同频率下的高度和周期位移、速度、加速度和应力，并以变化频率下的载荷震荡方式来响应
	动态冲击分析	计算模型的位移和应力的最大值，并以指定反射光谱等基本激发来响应
	动态随机分析	计算模型功率频谱密度和位移的RMS值、速度、加速度和应力，并以指定功率频谱密度的载荷方式来响应
设计研究	标准设计研究	
	敏感度设计研究	
	优化设计研究	

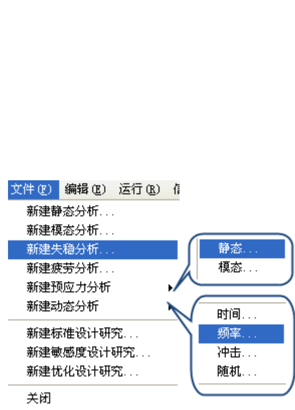


图 8.2　【文件】菜单



图 8.3　“运行设置”对话框

（4）【信息（I）】菜单提供了对运行状态进行查询和对模型进行检查。

（5）【查看设计研究或有限元分析结果】按钮用于显示当前创建的分析结果。

（6）【分析和设计研究】列表框显示建立的分析名称、类型和状态。

（7）【说明】文本框显示在【分析和设计研究】列表框中选择的分析的简要说明概述。

8.2　建立结构分析

建立分析的重点不在操作，操作是很简单的，它难在分析所代表的设计考虑、布局和探讨未知性。前面已经讲解了作分析所有所需要定义的操作。因此，下面将详细介绍各种分析操作后，以实例讲解分析的操作，以及前面所谈内容的布局应用。

8.2.1　静态分析

1．新建静态分析

【静态分析】用来模拟模型结构的刚度和强度，根据约束和载荷条件计算模型的应力和应变。

运行静态分析的条件：

- 一个约束集。
- 一个以上的载荷集。
- 属于 3D 模型。

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框，如图 8.4 所示。

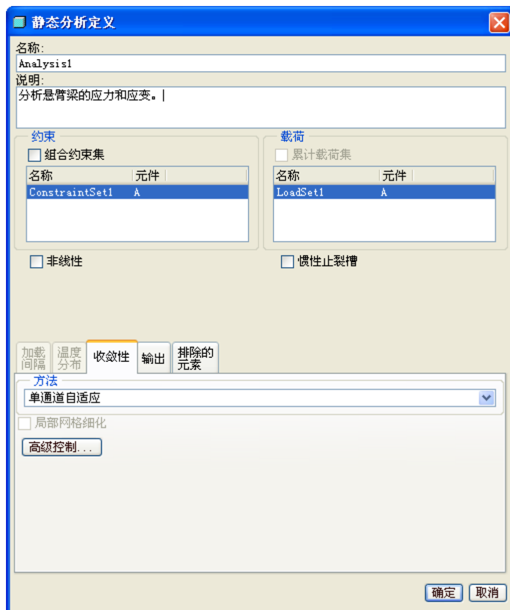


图 8.4　“静态分析定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建静态分析的名称，系统默认为 Analysis＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建静态分析的简要概述以区分其他分析，如分析悬臂梁的应力和应变。

（3）【约束】选项组用于定义新建静态分析所施加的约束集。

- 勾选【组合约束集】复选框，表示使用列表框中 2 个以上约束集共同作用于模型进行静态分析。
- 列表框显示当前模型中创建的所有约束集。
- 勾选【非线性】复选框，对话框中展开【非线性选项】选项组，如图 8.5 所示。根据所创建的约束类型，可以选择计算大变形、包括接触、包括超弹性、包括塑性等选项进行响应分析。

（4）【载荷】选项组用于定义新建静态分析所需载荷集。

- 勾选【累计载荷集】复选框，表示使用 2 个以上载荷集累计作用于模型上进行分析。
- 列表框中显示当前模型中创建的所有载荷集。
- 勾选【惯性止裂槽】复选框，表示模型在载荷作用下全约束状态进行分析，约束选项组变成不可用状态。

（5）【收敛性】选项卡，如图 8.6 所示，用于定义分析的计算方法：

- 在【方法】下拉列表框中选择“多通道自适应”选项，表示多次计算，每次都提高有问题单元的阶数，达到设置的收敛精度或最高阶数时为止。
- 在【方法】下拉列表框中选择“单通道自适应”选项，表示首先使用低阶多项式完成一次计算，估计出计算结果的精度，然后针对问题的单元提高阶数再计算一次。
- 在【方法】下拉列表框中选择“快速检查”选项，表示粗略计算，检查模型中可能存在的错误。



图 8.5 【非线性选项】选项组



图 8.6 【收敛性】选项卡内容

（6）【输出】选项卡，如图 8.7 所示，用于定义分析所要输出的计算内容以及显示网格。

- 【计算】选项组用于设置需要分析计算的内容：应力、旋转、反作用、局部应力

误差。

❑ 【出图】选项组用于设置生成结果时，显示的网格，数值越大生成的结果精度越高，需要计算机资源就越多。

（7）【排除的元素】选项卡，如图 8.8 所示，用于定义在计算过程中可以排除的忽略的元素。勾选【排除元素】复选框，表示可以进行排除元素，在其他选项进行设置需要排除元素的选项。



图 8.7 【输出】选项卡

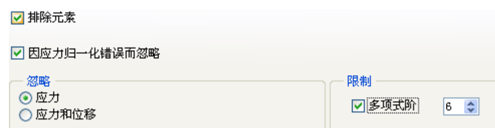


图 8.8 【排除的元素】选项卡

2. 获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.9 所示。



图 8.9 “结果窗口定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。

（2）【标题】文本框用于定义新建分析结果的标题，如应力变化曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建分析结果窗口的设计研究，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录。

（4）【显示类型】下拉列表框用于定义生成分析结果的显示类型：

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Fringe（条纹）”选项，将分析结果以条纹状形式表现，效果如图 8.10 所示。

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Vectors（线框）”选项，将分析结果以点、线等形式表现，效果如图 8.11 所示。

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Graph（曲线）”选项，将分析结果以曲线表的形式表现，效果如图 8.12 所示。

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Model（模型）”选项，将分析结果以曲线表的形式表现，效果如图 8.13 所示。

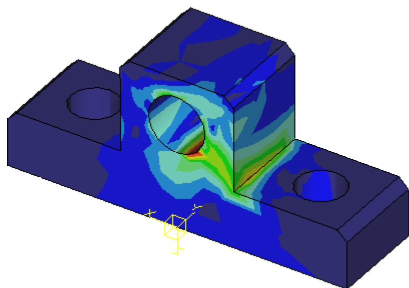


图 8.10　Fringe（条纹）

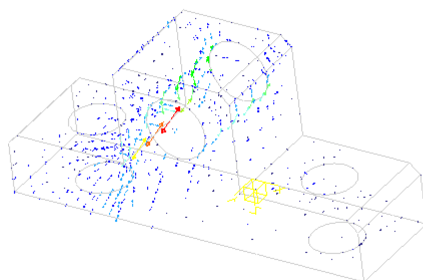


图 8.11　Vectors（线框）

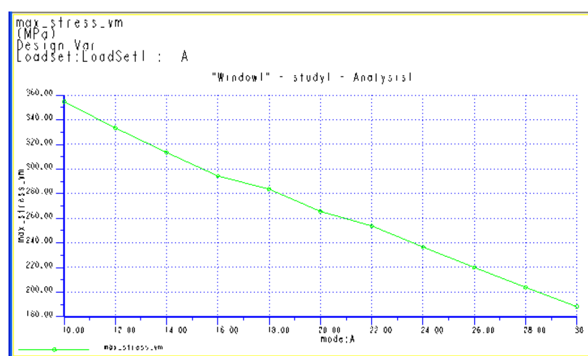


图 8.12　Graph（曲线）

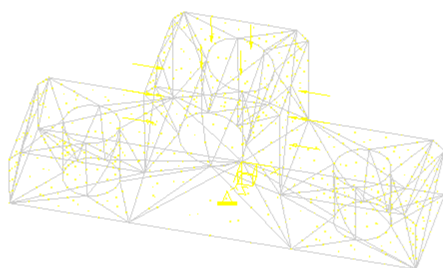


图 8.13　Model（模型）

（5）【量】选项卡用于定义分析结果显示量：

❑ 在下拉列表框中选择“Stress”选项，表示结果窗口中显示压力的变化条纹、线框、曲线、模型等，在其后的下拉列表框中选择压力的单位。在其【分量】下拉列表框中，选择压力的分量：von Mises（畸变能）、Max Principal、Mid Principal、Min Principal、Maximum Shear Stress 等压力的各种分量。

❑ 在下拉列表框中选择“Displacement”选项，表示结果窗口中显示变形的条纹、线框、曲线、模型等，在其后的下拉列表框中选择变形的单位。在其【分量】下拉列表框中，选择变形的分量：Magnitude、X、Y、Z 等变形量的分量。

❑ 在下拉列表框中选择“Strain”选项，表示结果窗口中显示应变的变化条纹、线框、曲线、模型等。在其【分量】下拉列表框中，选择应变的分量：Max Principal、Min Principal、Mid Principal 等应变托分量。

❑ 在下拉列表框中选择“Strain Energy”选项，表示结果窗口中显示应变能的变化条纹、线框、曲线、模型等。

❑ 在下拉列表框中选择“P-Level”选项，表示结果窗口中显示 P 网格等级的变化条纹、线框、曲线、模型等。

（6）【显示位置】选项卡，如图 8.14 所示，该选项卡用于定义结果窗口中显示的零

件几何元素所对于的静态分析结果，如 Curves、All、Surfaces、Volumes、Components/Layers 等对象的应力、应变、变形等属性。

（7）【显示选项】选项卡，如图 8.15 所示，该选项卡用于定义结果窗口中显示内容的选项。该选项卡可以完成以下设置：

- ❑ 可以设置图例的等级，是否显示轮廓、标注轮廓、等值面，是否显示连续色调等。
- ❑ 是否显示变形，以及显示变形的设置。
- ❑ 是否显示元素边、载荷、约束等模型元素。
- ❑ 是否显示动画以及显示动画的设置。

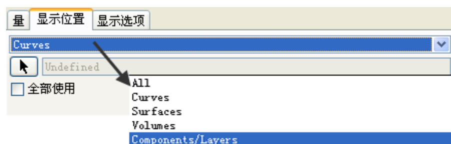


图 8.14　【显示位置】选项卡



图 8.15　【显示选项】选项卡

3．实例

下面以长度为 1m，截面为 100mm×100mm 的方形梁体为例，讲解静态分析创建的过程。

（1）创建模型

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 A，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

❑ 在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

❑ 单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

❑ 绘制 100×100 矩形，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 1000，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计，效果如图 8.16 所示。

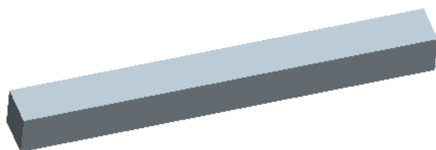


图 8.16　方形梁体

（2）分配材料

❑ 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“STEEL.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，此时对话框如图 8.17 所示，完成模型材料的分配，效果如图 8.18 所示。



图 8.17 “材料指定”对话框

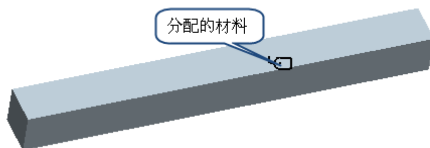


图 8.18 分配的材料

（3）添加压力载荷和重力载荷

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【压力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【压力载荷（P）】命令，系统弹出“压力载荷”对话框。



注意

系统默认创建一个载荷集 LoadSet1，所以这里就不需要创建载荷集，使用系统默认。

❑ 单击【参照】列表框中空白，在 3D 模型中选择方形梁体的上表面，如图 8.19 所示。

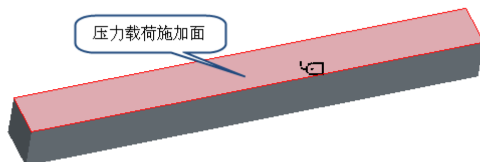


图 8.19 压力载荷施加面

❑ 在【Value】文本框中键入 1000，选中其后的下拉列表框中的“MPa”选项，此时对话框的设置如图 8.20 所示，单击【确定】按钮，完成压力载荷的创建，效果如图 8.21

所示。



图 8.20　“压力载荷”对话框

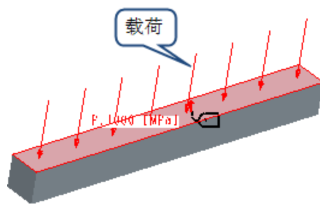


图 8.21　创建的压力载荷

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【重力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【重力载荷（G）】命令，系统弹出“重力载荷”对话框。

❑　在【加速度】选项组中【Z】文本框中键入 1，其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成重力载荷的添加，效果如图 8.22 所示。

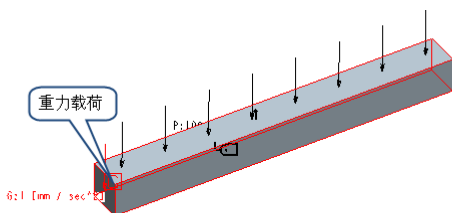


图 8.22　添加的重力载荷

（4）添加约束

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“约束”对话框。

❑　单击【参照】列表框中的空白，在 3D 模型中选中一端面，如图 8.23 所示，其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成端面位移约束的创建，效果如图 8.24 所示。

❑　使用同样的方法在另一端面添加位移约束。

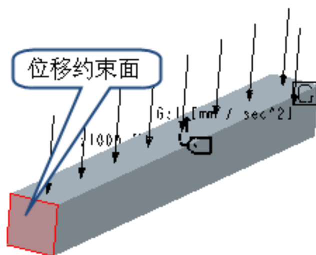


图 8.23　位移约束面

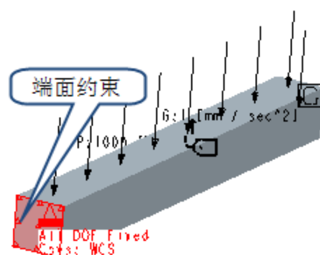


图 8.24　创建的端面位移约束

（5）创建静态分析

❑ 选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框，勾选【输出】选项卡中【计算】选项组中【应力】、【旋转】、【反作用】复选框，如图 8.25 所示。

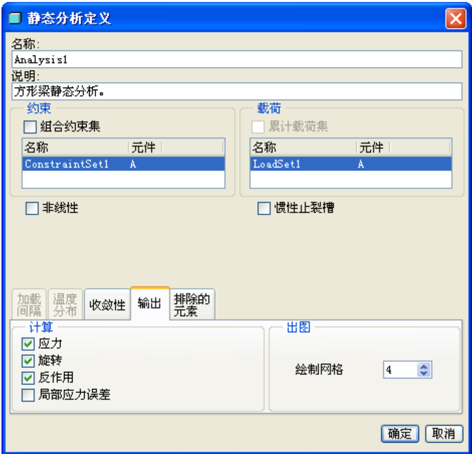


图 8.25 “静态分析定义”对话框

❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出“提示询问”对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.26 所示，对话框中显示静态分析过程以及分析出现的问题。

❑ 关闭“诊断”对话框，分析后的“分析和设计研究”对话框，如图 8.27 所示，保存分析结果以便输出分析结果。

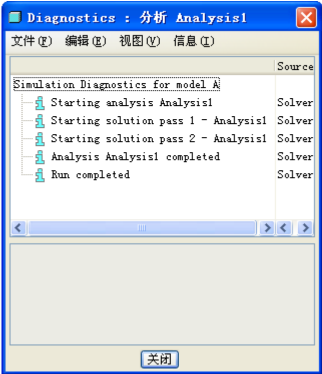


图 8.26 “诊断”对话框



图 8.27 “分析和设计研究”对话框

（6）获取结果

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 在【标题】文本框中键入压力，选择【显示类型】下拉列表框中“Fringe”选项。

❑ 单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】、【显示约束】复选框。

❑ 单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.28 所示。

❑ 退出结果窗口，在“分析和设计研究”对话框中，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 在【标题】文本框中键入应变，选择【显示类型】下拉列表框中“Graph”选项。

❑ 单击【量】选项卡，在下拉列表框中选择“Strain”选项，单击【图像位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出模型预览窗口，选择一条边，如图 8.29 所示，在“选取”对话框中单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

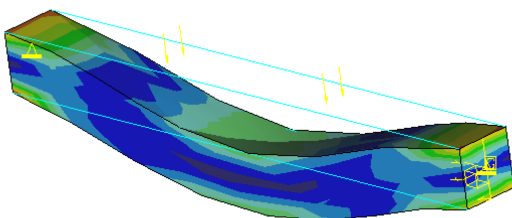


图 8.28　压力条纹图

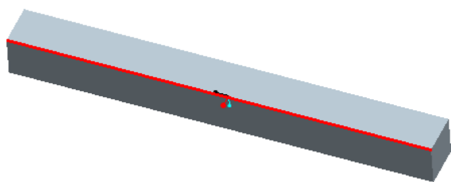


图 8.29　选取的边线

❑ 单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.30 所示。

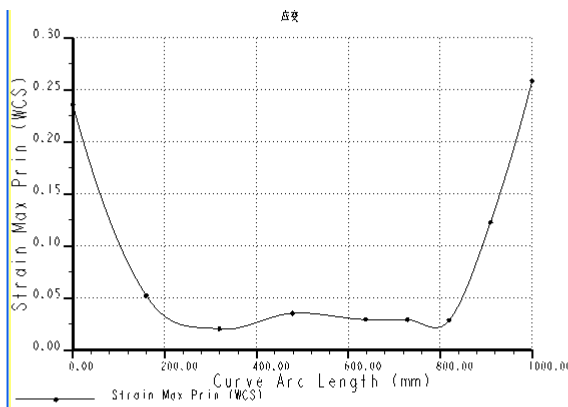


图 8.30　应变曲线图

8.2.2　模态分析

1. 新建模态分析

【模态分析】模拟模型在受到约束的情况下，计算在自然频率下的模型形态。

运行静态分析的条件：

- 一个约束集。
- 属于 3D 模型。

在“分析和研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建模态分析】命令，系统弹出“模态分析定义”对话框，如图 8.31 所示。

（1）【约束】选项组用于设置施加到模型上的载荷。

- 点选【手约束】单选按钮，在列表框中选择约束集，如果在模型中创建 2 个以上约束集，【组合约束集】复选框可用，勾选该复选框，表示多个约束集共同作用模型。
- 点选【无约束】单选按钮，约束集列表框变成不可用状态，表示模型不受约束作用。

（2）【模式】选项卡用于设置模型工作的自然频率和模式。

- 点选【模式数】单选按钮，在【模式数】文本框中定义模型工作的自然模式数，在【最小频率】文本框中设置模型工作的自然最小频率。
- 点选【频率范围内的所有模式】单选按钮，在【最小频率】和【最大频率】文本框设置模型工作的自然频率范围。

（3）其他选项的作用和使用方法参见静态分析。

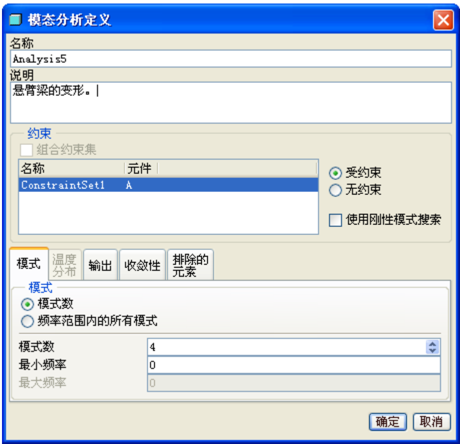


图 8.31　“模态分析定义”对话框

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的模态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.32 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。

（2）【标题】文本框用于定义新建分析结果的标题，如应力应变曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建分析结果窗口的设计研究以及分析。

❑ 在【设计研究】选项组中，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录，在【分析】下拉列表框中选择分析。

❑ 在列表框中选择模态分析环境的频率模式，可以多选，单击【缩放】列中的文本框定义缩放比例。

（4）【显示类型】下拉列表框用于定义生成分析结果的显示类型：Fringe（条纹）、Vectors（线框）、Graph（曲线）、Model（模型）4 种类型。

（5）【量】选项卡，如图 8.33 所示，该选项卡用于定义分析结果显示量：Stress（压力）、Displacement（变形）、Strain（应变）、Strain Energy（应变能）、Rotation（旋转）、Shell Resultant（壳合成）、P－Level。



图 8.32 “结果窗口定义”对话框

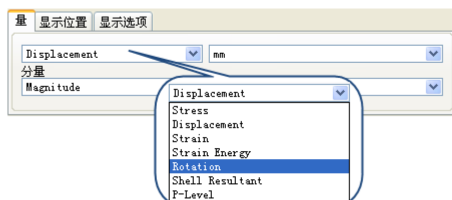


图 8.33 【量】选项卡

（6）其他选项的作用同静态分析。

3．实例

下面以静态分析中的方形梁体为例，讲解模态分析的创建过程。

（1）打开模型 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。



注意

关于分配材料、添加约束等操作参见静态分析实例，直接使用前面的例子进行创建模态分析。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建模态分析】命令，系统弹出“模态分析定义”对话框。

（4）单击【模式】选项卡，点选【模式数】单选按钮，在【模式数】和【最小频

率】文本框中键入 8、30，如图 8.34 所示。

（5）勾选【输出】选项卡中【计算】选项组中【旋转】、【反作用】复选框，其他选项为默认值， 单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成模态分析的创建。

（6）选择菜单栏中的【运行（R)】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出“提示询问”对话框，单击【是（Y)】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.35 所示，对话框中显示模态分析过程以及分析出现的问题。

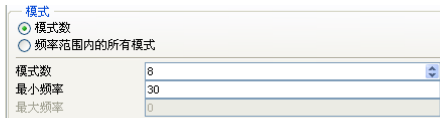


图 8.34 【模式】选项卡

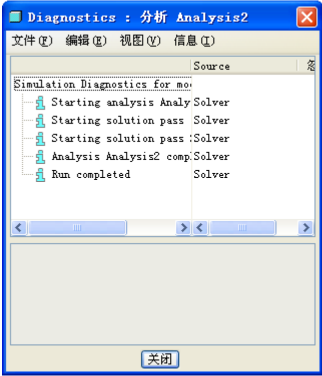


图 8.35 “诊断结果”对话框

（7）关闭“诊断”对话框，保存分析结果以便输出分析结果。

（8）选中【分析和设计研究】列表框中的模态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（9）在【标题】文本框中键入变形曲线，选中【研究选取】选项组中列表框中所有模式。

（10）选中【显示类型】下拉列表框中“Graph”选项。

（11）单击【量】选项卡，在下拉列表框中选择“Displacement”选项，单击【图像位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出模型预览窗口，选择一条边，在“选取”对话框中单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（12）其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.36 所示。

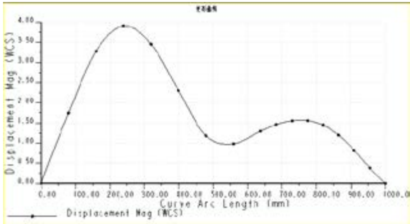


图 8.36 变形曲线

（13）重复第 8～12 步，在第 9 步中选中第一种频率模式，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.37 所示。

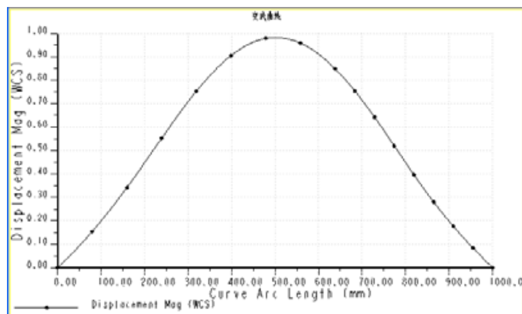


图 8.37　变形曲线

8.2.3　失稳分析

1．新建失稳分析

【失稳分析】是在静态分析结果的基础上进行分析模型的稳定性，即模型在载荷作用下是如何发生变形的，以及变形的大小等。

运行失稳分析的条件：

- ❑ 一个以上的载荷集。
- ❑ 一个静态分析、或增加一个设计研究。
- ❑ 属于 3D 模型。

在“分析和研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建失稳分析】命令，系统弹出“失稳分析定义”对话框，如图 8.38 所示。

（1）【前一分析】选项卡用于设置进行失稳分析所使用的静态分析、设计研究和载荷集。

❑ 勾选【使用来自前一设计研究的统计分析结果】复选框，在【设计研究】下拉列表框中选择前面创建的设计研究，选中的设计研究将的统计分析结果将作为失稳分析依据。

❑ 在【静态分析】下拉列表框中选择前面创建的静态分析并将其结果作为失稳分析的依据。

❑ 【载荷集】列表框用于显示模型中所创建的载荷集，在才选择载荷集施加与模型进行失稳分析。

❑ 【失稳模式数】微调框用于调节进行失稳分析的模式数。

（2）其他选项的内容介绍参见静态分析。

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的失稳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.39 所示，该对话框的大部分内容与模态分析所对于的对话框内容相同，其中，【设计研究】列表框中的内容不同，这里列出是弯曲载荷，单击【Buckling Load Factor】列中的数值，可以定义弯曲载荷因子。

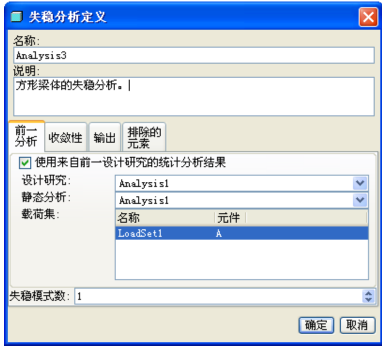


图 8.38 “失稳分析定义”对话框



图 8.39 “结果窗口定义”对话框

3．实例

下面以静态分析中的例子为例，继续讲解失稳分析的创建过程。

（1）打开模型 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建失稳分析】命令，系统弹出“失稳分析定义”对话框。

（4）单击【前一分析】】选项卡，在【静态分析】下拉列表框中选择静态分析 Analysis1，选中【载荷集】列表框中的 LoadSet1 载荷集，调节【失稳模式数】微调框为 4，如图 8.40 所示。

（5）单击【收敛性】选项卡，在【方法】下拉列表框中选中“多通道自适应”选项，然后点选【收敛于】选项组中【BLF、局部位移、局部应变能和 RMS 应力】单选按钮，如图 8.41 所示。

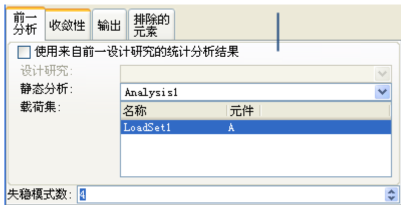


图 8.40 【前一分析】】选项卡

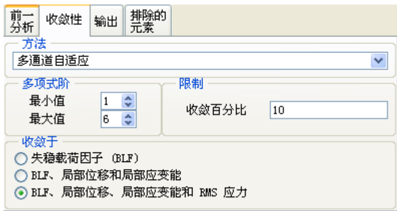


图 8.41 【收敛性】选项卡

（6）单击【输出】选项卡，勾选【应力】、【旋转】、【反作用】复选框，调节【出图】选项组中【绘制网格】微调按钮为 8。

（7）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成失稳分析模型的建立。

（8）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出“提示询问”对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.42 所示，对话框中显示失稳分析过程以及分析出现的问题。

（9）关闭“诊断”对话框，保存分析结果以便下面输出分析结果。

（10）选中【分析和设计研究】列表框中的失稳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（11）在【标题】文本框中键入压力条纹，选中【设计研究】列表框中第四种模式。

（12）选中【显示类型】下拉列表框中“Fringe”选项。

（13）单击【量】选项卡，在下拉列表框中选择“Displacement”选项。

（14）单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】、【显示约束】复选框。

（15）其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.43 所示。

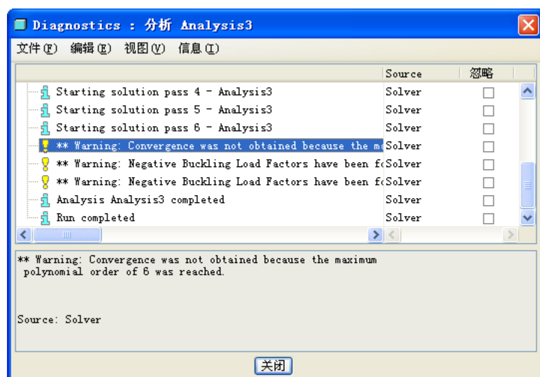


图 8.42　“诊断”对话框

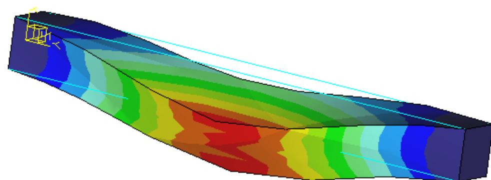


图 8.43　变形条纹

8.2.4　疲劳分析

【疲劳分析】就是对零件的疲劳特征进行评估和预测是否发生疲劳破坏，也可以和其他分析一起对零件进行优化设计。疲劳破坏就是零件在交变载荷重复作用下材料或结构的破坏现象，当材料或结构受到多次重复变化的载荷作用后，虽然应力值始终没有超过材料的强度极限，甚至比弹性极限还低的情况下也可能发生破坏。

进行疲劳分析的主要内容如下：

- 疲劳寿命：发生疲劳破坏时的应力循环次数，或者从开始受重复载荷作用到断裂

所经过的时间，称为疲劳寿命。

- ❑ 疲劳破坏就是在交变载荷作用下引起的零件失效或破坏。疲劳破坏不是在一次最大载荷作用下的破坏，而是反复载荷作用下产生的破坏，疲劳破坏通常没有明显的塑性变形迹象。
- ❑ 安全系数就是输入载荷的许用安全系数。当计算出的疲劳寿命比设计寿命长时，疲劳分析能够反过来计算输入载荷的许用安全系数。
- ❑ 疲劳寿命可信度就是计算出的疲劳和设计寿命的比值。由于疲劳具有统计特征，因此，疲劳寿命可信度越大越好。

运行预应力静态分析的条件：

- ❑ 一个约束集。
- ❑ 一个以上的载荷集和强制位移。
- ❑ 一个以上静态分析。
- ❑ 属于 3D 模型。

1．材料的疲劳特征

零件抵抗静力破坏的能力，主要取决于材料本身。零件抵抗疲劳破坏的能力不仅与材料有关，而且还与材料的组成，构件的状态和大小、表明状况等有关。在疲劳分析中，不仅确定材料密度、弹性模量、泊松比等参数，还需要设置材料的疲劳特征参数，如最大抗拉强度、材料表明处理、材料放入构成等。

选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料（L）】命令，或单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料】工具按钮，系统弹出“材料”对话框，选中【模型中的材料】列表框中的材料，选择菜单栏中的【编辑】→【属性】命令，系统弹出“材料定义”对话框，如图 8.44 所示。

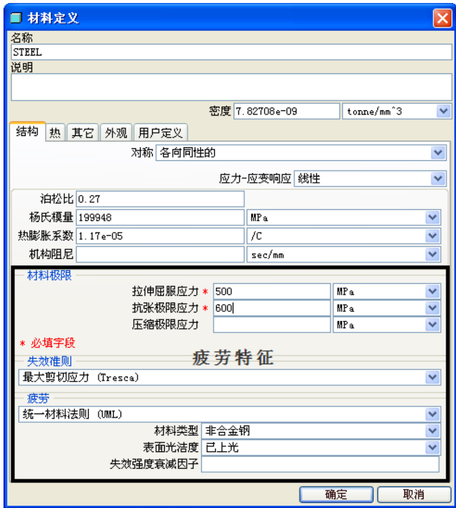


图 8.44 “材料定义”对话框

（1）【材料极限】选项组由于定义材料的拉伸屈服应力、抗张极限应力、压缩极限应力等材料属性值，取值范围在 50～4000Mpa 之间。

（2）【失效准则】选项组由于定义材料的失效方式：修正的莫尔理论、最大剪切应力（Tresca）、畸变能（von Mises）。

（3）【疲劳】选项组用于定义材料工艺特征。在下拉列表框中选择“统一材料法则（UML）”选项，然后其下的选项中设置材料类型、表面光洁度（表面粗糙度）、失效衰减因子。

- 【材料类型】下拉列表框用于选择零件的材料。系统提供的材料类型有非合金钢、低合金钢、钛合金、铝合金。
- 【表面光洁度】下拉列表框用于定义材料表面的处理情况，疲劳破坏与材料的表面情况有很大的关系，系统提供的材料表面处理情况有：已上光、基础、加工（精）、加工（中）、加工（粗）、热轧、锻造、铸造、水蚀处理、咸水水蚀处理、氮化处理、冷轧、喷丸处理等表面处理情况。
- 【失效强度衰减因子】文本框用于定义疲劳强度换算系数，该值为大于 1 的数值。

2．新建疲劳分析

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建疲劳分析】命令，系统弹出“疲劳分析定义”对话框，如图 8.45 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建疲劳分析的名称，系统默认为 Analysis＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框应用于定义新建疲劳分析的简要概述。

（3）【载荷历史】选项卡用于定义载荷零件作用过程。

- 【寿命】文本框用于定义发生疲劳破坏时的应力循环次数，或者从开始受重复载荷作用到断裂所经过的时间。
- 【正在加载】选项组用于设置交变载荷的幅值特征、载荷的类型。在【类型】下拉列表框中选择载荷幅值变化类型：恒定振幅、可变振幅，如果载荷是随机载荷，则需要选择可变振幅，否则选择恒定振幅；在【振幅类型】下拉列表框中选择幅值类型：峰值-峰值、零值-峰值、用户定义的 3 种，如果选择用户定义的幅值类型，则需要输入最小载荷因子和最大载荷因子。

（4）【前一分析】选项卡，如图 8.46 所示，该选项卡用于定义进行疲劳分析所需的静态分析、设计研究和载荷集。

- 勾选【使用来自前一设计研究的统计分析结果】复选框，在【设计研究】下拉列表框中选择模型中已创建的设计研究。
- 在【静态分析】下拉列表框中选择模型中已创建的静态分析。
- 在【载荷集】列表框中选中用于疲劳分析的载荷集，选中所需要的载荷集使其高亮显示。

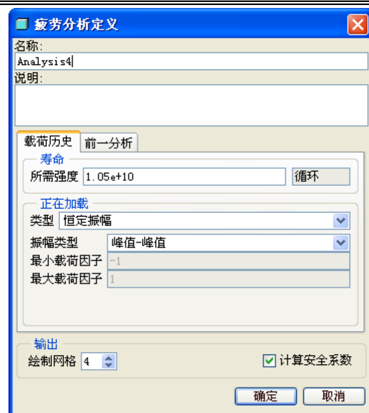


图 8.45 “疲劳分析定义”对话框

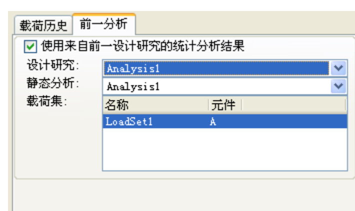


图 8.46 【前一分析】选项卡

（5）【输出】选项组用于定义输出结果的显示的网格和输出计算安全系数。

❑ 在【绘制网格】微调框中调整输出结果显示的网格数，该数值为 2～10 之间。

❑ 勾选【计算安全系数】复选框，系统在对零件进行疲劳分析的同时计算输入载荷的许用安全系数，并将其输出。

3．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.47 所示，该对话框的内容与前面讲解的静态分析、模态分析相差不多，不同之处如下：

❑ 【显示类型】定义生成的分析结果显示类型，这里只能“Fringe（条纹）”一种。

❑ 在【量】选项卡【分量】下拉列表框中选择输出结果的具体内容：日志寿命、日志破坏、安全系数、寿命置信度 4 中类型。

4．实例

下面以如图 8.47 所示简单的紧固件几何模型为例，讲解疲劳分析的建立分析过程。

要求：零件为热轧低合金钢，最大抗拉强度为 400Mpa，零件的设计疲劳寿命为 106 次，受到 1000N 的交变载荷作用。

（1）建立几何模型

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 B，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

❑ 在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

❑ 单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

❑　绘制如图 8.48 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮✓，在控制面板中厚度设置框中键入 15，单击其后的【完成】按钮☑，完成模型的设计。

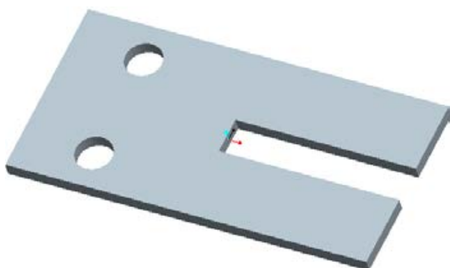


图 8.47　疲劳分析模型

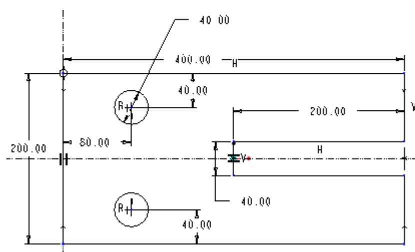


图 8.48　草图

（2）定义模型的材料

❑　选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“STEEL.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中。

❑　在【模型中的材料】列表框中，选中“STEEL”材料选项，选择菜单栏中的【编辑】→【属性】命令，系统弹出“材料定义”对话框。

❑　在【材料极限】选项组中，【拉伸屈服应力】文本框中键入 350，在其后下拉列表框中选择“Mpa”单位选项；【抗拉极限应力】文本框中键入 400，在其后下拉列表框中选择“Mpa”单位选项。

❑　选择【失效准则】下拉列表框中的“最大剪切应力（Tresca）”选项；选择【疲劳】下拉列表框中的“统一材料法则（UML）”选项，在其下的【材料类型】下拉列表框中选择“低合金钢”选项，【表面光洁度】下拉列表框中选择“热轧”选项，在【失效强度衰减因子】文本框中键入 2，“材料定义”对话框中的设置如图 8.49 所示。

❑　单击【确定】按钮，完成材料疲劳特性参数的设置，返回“材料”对话框，单击【确定】按钮，返回“材料定制”对话框，单击【确定】按钮，完成模型材料的定义。

（3）定义约束

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“约束”对话框。

❑　在【参照】下拉列表框中选择“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择孔内表面，如图 8.50 所示。

❑　选中【平移】和【旋转】选项组中所有【固定】按钮，单击【确定】按钮，完成位移约束定义。

❑ 使用同样约束方法，将另一孔的 6 个自由度都笃定，效果如图 8.51 所示。

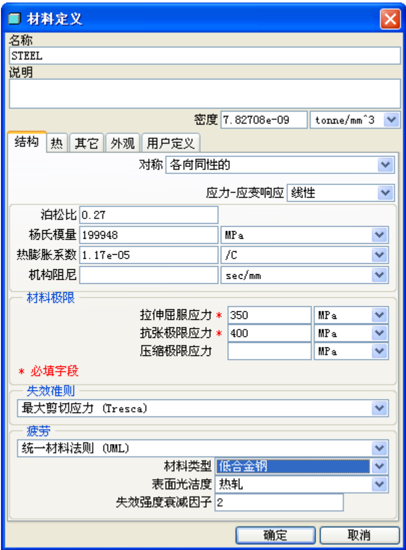


图 8.49 “材料定义”对话框

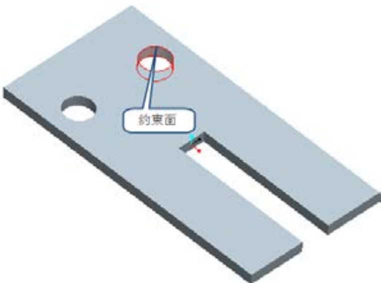


图 8.50 约束面

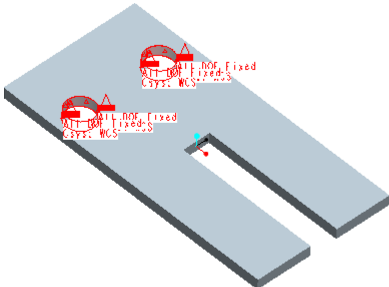


图 8.51 创建的约束

（4）定义载荷

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩载荷（L）】命令，系统弹出“力/力矩载荷”对话框。

❑ 选择【参照】下拉列表框中的“Points”选项，在 3D 模型中点选侧边中点，如图 8.52 所示。

❑ 在【力】选项组中【Y】文本框中键入 1000，选择其下方列表框中“N”单位选项，单击【确定】按钮，完成载荷的定义。

❑ 使用同样的方法，在另一侧也添加相同的载荷，效果如图 8.53 所示。

（5）建立并运行静态分析

❑ 选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

❑ 选择【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框，选中【约束】列表框中的“ConstraintSet1”选项，使其高亮显示，选中【载荷】列

表框中“LoadSet1”选项，其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成静态分析的建立。

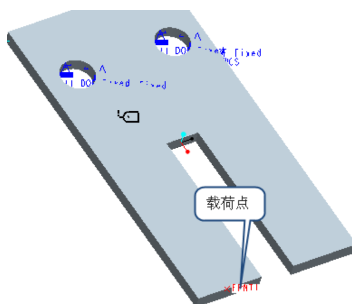


图 8.52　载荷点

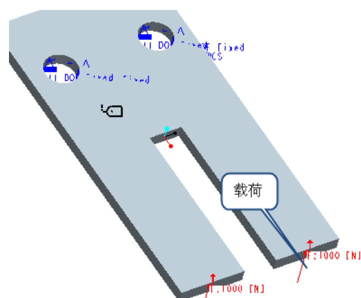


图 8.53　加载的载荷

❑ 选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.54 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

（6）建立并运行疲劳分析

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选择【文件（F）】→【新建疲劳分析】命令，系统弹出“疲劳分析定义”对话框。

❑ 单击【载荷历史】选项卡中，在【寿命】选项组中【所需强度】文本框中键入 1000000，点选【计算安全系数】复选框，单击【确定】按钮，完成零件疲劳分析的建立。

❑ 选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.55 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

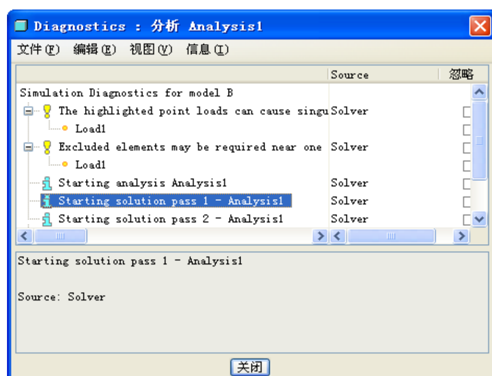


图 8.54　“静态分析诊断”对话框

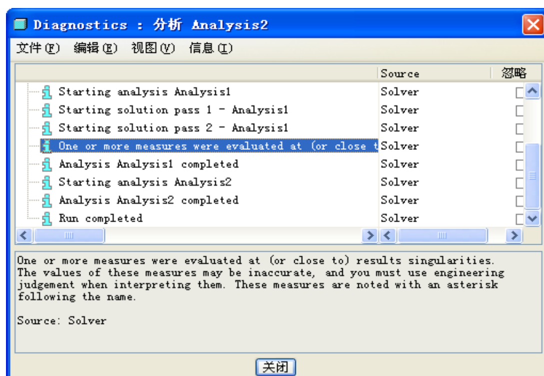


图 8.55　“疲劳分析诊断”对话框

（7）输出疲劳分析结果

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 单击【量】选项卡，在【分量】下拉列表框中选择“日志寿命”选项，单击【确定并显示】按钮，如图 8.56 所示为破裂寿命窗口。

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【退出结果（X）】命令，返回“分析和设计研究”对话框。

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 单击【量】选项卡，在【分量】下拉列表框中选择“日志破坏”选项，单击【确定并显示】按钮，如图 8.57 所示为交变荷作用下的疲劳破坏窗口，最先发生破裂破坏的地方正好位于孔边。

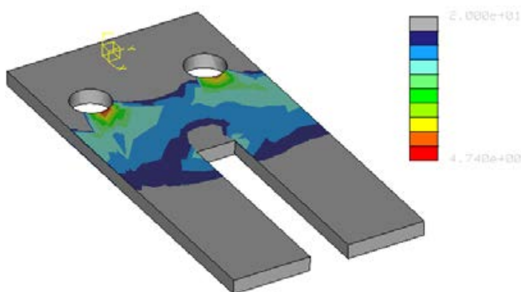


图 8.56　破裂寿命

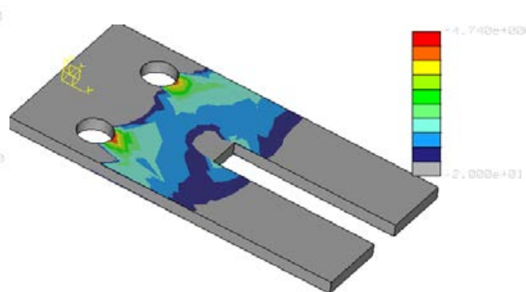


图 8.57　疲劳破坏

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【退出结果（X）】命令，返回“分析和设计研究”对话框。

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 单击【量】选项卡，在【分量】下拉列表框中选择“安全系数”选项，单击【确定并显示】按钮，如图 8.58 所示为安全系数窗口。

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【退出结果（X）】命令，返回“分析和设计研究”对话框。

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 单击【量】选项卡，在【分量】下拉列表框中选择“寿命置信度”选项，单击【确定并显示】按钮，如图 8.59 所示为寿命置信度窗口。

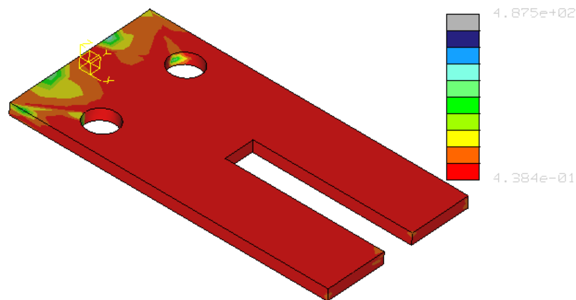


图 8.58　安全系数

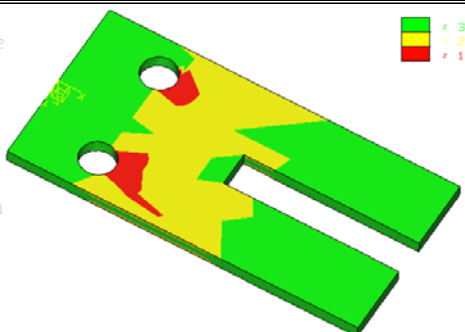


图 8.59　寿命置信度

8.2.5　预应力静态分析

【预应力静态分析】用来模拟一个预刚度或预应力结构，是如何影响模型的变形、应力和应变情况。换句话说，它可以用来决定加上指定的载荷后，零件哪些部位的结构是强的或弱的。

预应力静态分析将使用静态分析的结果来作为分析的起点。因此，要运行一个预应力静态分析，除了要先运行一个静态分析之外，还可以适用以下情况：

- ❑ 如果希望模型能有一个横向作用。
- ❑ 如果应用的载荷能影响模型的刚度。例如，一个使用射出力来当作载荷的模型。
- ❑ 如果指定载荷在静态分析时，接近一个对应的屈曲载荷的大小。那么预应力的作用是微不足道的。此时，应该运行一个预应力静态分析来得到更加具体的信息。

运行预应力静态分析的条件：

- ❑ 一个约束集。
- ❑ 一个以上的载荷集和强制位移。
- ❑ 一个以上静态分析。
- ❑ 属于 3D 模型。

1．新建预应力静态分析

在“分析和研究”对话框中，选择【文件（F）】→【新建预应力分析】→【静态】命令，系统弹出“预应力静态分析定义”对话框，如图 8.60 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建预应力静态分析的名称，系统默认为 Analysis＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建预应力静态分析的简要概述以区分其他分析，如分析悬臂梁的应力和应变。

（3）【约束】选项组用于定义新建预应力静态分析所施加的约束集。

❑ 勾选【组合约束集】复选框，表示使用列表框中 2 个以上约束集共同作用于模型进行静态分析。当在列表框中选择 2 个以上约束集，该复选框才可用。

❑ 列表框显示当前模型中创建的所有约束集。

（4）【载荷】选项组用于定义新建预应力静态分析所需载荷集。

❑ 勾选【累计载荷集】复选框，表示使用 2 个以上载荷集累计作用于模型上进行分析。当在列表框中选择 2 个以上载荷集，该复选框可用。

❑ 列表框中显示当前模型中创建的所有载荷集。

（5）【前一分析】选项卡用于定义预应力静态分析所使用的已建立的静态分析、设计研究和载荷集。

❑ 勾选【使用来自前一设计研究的统计分析结果】复选框，在【设计研究】下拉列表框中选择前面创建的设计研究，选中的设计研究将的统计分析结果将作为预应力静态分析依据。

❑ 在【静态分析】下拉列表框中选择前面创建的静态分析并将其结果作为预应力静态分析的依据。

❑ 【载荷集】列表框用于显示模型中所创建的载荷集，在才选择载荷集施加与模型进行预应力静态分析。

❑ 【载荷比例因子】文本框用于定义【载荷集】列表框中的载荷在预应力静态分析中所起到的作用。

❑ 勾选【将结果与前一静态分析的结果组合】复选框，表示预应力静态分析和所使用的静态分析的结果组合。

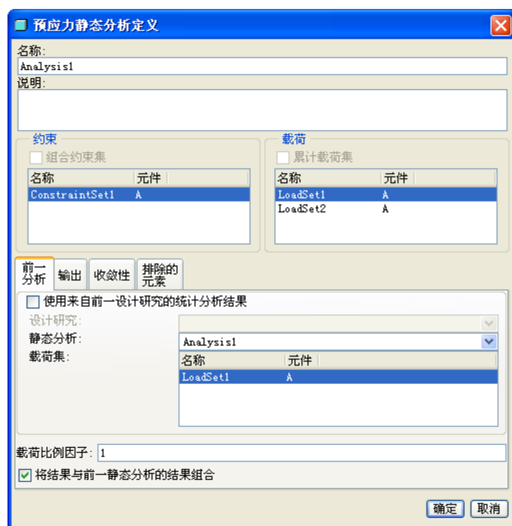


图 8.60 “预应力静态分析定义”对话框

（6）【输出】选项卡用于定义预应力静态分析所需输出的计算结果和绘图网格。

❑ 【计算】选项组用于设置需要分析计算的内容：应力、旋转、反作用、局部应力误差。

❑ 【出图】选项组用于设置生成结果时，显示的网格，数值越大生成的结果精度越

高，需要计算机资源就越多。

（7）【收敛性】选项卡，用于定义分析的计算方法：

❑　在【方法】下拉列表框中选择“多通道自适应”选项，表示多次计算，每次都提高有问题单元的阶数，达到设置的收敛精度或最高阶数时为止。

❑　在【方法】下拉列表框中选择“单通道自适应”选项，表示首先使用低阶多项式完成一次计算，估计出计算结果的精度，然后针对问题的单元提高阶数再计算一次。

❑　在【方法】下拉列表框中选择“快速检查”选项，表示粗略计算，检查模型中可能存在的错误。

（8）【排除的元素】选项卡，用于定义在计算过程中可以排除的忽略的元素。勾选【排除元素】复选框，表示可以进行排除元素，在其他选项进行设置需要排除元素的选项。

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的预应力静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.61 所示。



图 8.61　“结果窗口定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建预应力静态分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。

（2）【标题】文本框用于定义新建预应力静态分析结果的标题，如应力应变曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建预应力静态分析结果所使用的设计研究以及分析。在【设计研究】选项组中，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录，在【分析】下拉列表框中选择所需分析。

（4）【量】选项卡用于定义分析结果显示量：Stress（压力）、Displacement（变形）、Strain（应变）、Strain Energy（应变能）、Failure index、P-Level。

（5）【显示位置】选项卡用于定义分析结果所显示的位置，即零件中几何元素的所对于的预应力静态分析结果。

（6）【显示选项】选项卡用于定义结果窗口中显示内容的选项。该选项卡可以完成

以下设置：

- ❑ 可以设置图例的等级，是否显示轮廓、标注轮廓、等值面，是否显示连续色调等。
- ❑ 是否显示变形，以及显示变形的设置。
- ❑ 是否显示元素边、载荷、约束等模型元素。
- ❑ 是否显示动画以及显示动画的设置。

3．实例

下面以前面讲解的例子为例，进一步讲解预应力静态分析的建立和分析过程。

（1）建立预应力静态分析

❑ 打开零件 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

❑ 选择【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

❑ 在“分析和研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建预应力分析】→【静态】命令，系统弹出“预应力静态分析定义”对话框。

❑ 选中【约束】列表框中的“ConstraintSet1”约束集选项，使其高亮显示。

❑ 选中【载荷】列表框中的“Loadset1”载荷集选项，使其高亮显示。

❑ 单击【前一分析】选项卡中【载荷集】列表框中的“LoadSet1”载荷集选项，使其高亮显示，在【载荷比例因子】文本框中键入 1。

❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成预应力静态分析的建立。

❑ 选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.62 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

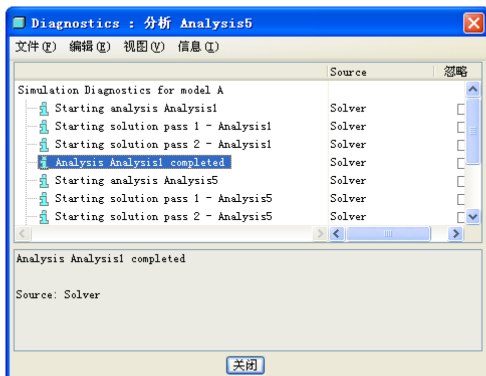


图 8.62 “诊断”对话框

（2）获取分析结果

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的预应力静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Graph”选项。

❑ 单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项，单击【图像位置】选项组中【选按钮，系统弹出模型阅览窗口和“选取”对话框，在预览窗口中选择一边，如图 8.63 所示。

❑ 单击【确定】按钮，完成边线的选取，返回“结果窗口定义”对话框。

❑ 其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.64 所示。

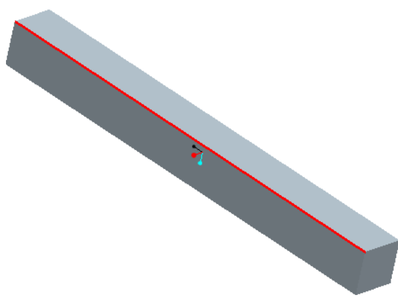


图 8.63　选取的边线

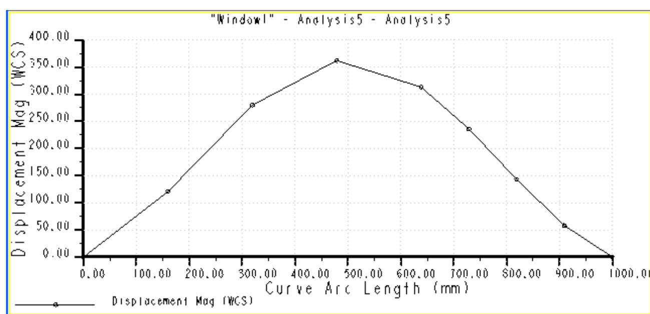


图 8.64　边线的变形曲线

❑ 退出结果窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选中【分析和设计研究】列表框中的预应力静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Fringe”选项。

❑ 单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项。

❑ 单击【显示选项】选项卡勾选【已变形】、【显示载荷】、【显示约束】复选框。

❑ 其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.65 所示。

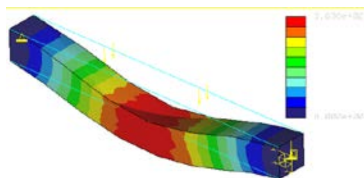


图 8.65　变形条纹

8.2.6　预应力模态分析

【预应力模态分析】将使用一个来自静态分析的结果，来计算模型的自然频率和模

态。例如，像要在一个静态分析以后运行预应力模态分析，以取得有关应用载荷和载荷的强弱等更加详细的信息。

运行预应力静态分析的条件：

- 0 或 1 个约束集。
- 一个静态分析。
- 属于 3D 模型。

1．建立预应力模态分析

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建预应力分析】→【模态】命令，系统弹出“预应力模态分析”对话框，如图 8.66 所示。

（1）【约束】选项组中【受约束】单选按钮表示分析模型受到约束限制，否则为不手约束限制。

（2）【模式】选项卡用于设置模型工作的自然频率和模式。

- 点选【模式数】单选按钮，在【模式数】文本框中定义模型工作的自然模式数，在【最小频率】文本框中设置模型工作的自然最小频率。
- 点选【频率范围内的所有模式】单选按钮，在【最小频率】和【最大频率】文本框设置模型工作的自然频率范围。

（3）其他选项的使用方法与左右参见预应力静态分析。

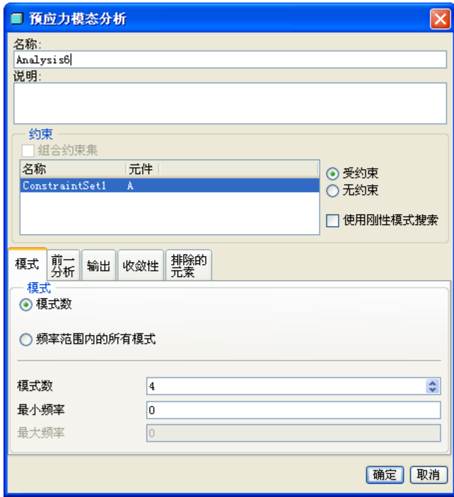


图 8.66 “预应力模态分析”对话框



图 8.67 “结果窗口定义”对话框

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的预应力模态分析分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.67 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建预应力模态分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。

（2）【标题】文本框用于定义新建预应力模态分析结果的标题，如应力应变曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建分析结果窗口的所需设计研究以及分析。

❑ 在【设计研究】选项组中，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录，在【分析】下拉列表框中选择分析。

❑ 在列表框中选择预应力模态分析环境的频率模式，使其高亮显示。

（4）【显示类型】下拉列表框用于定义生成分析结果的显示类型：Fringe（条纹）、Vectors（线框）、Graph（曲线）、Model（模型）4 种类型。

（5）【量】选项卡用于定义分析结果显示量： Displacement（变形）、P－Level。

（6）其他选项的使用方法与作用参见预应力静态分析。

3．实例

下面以前面讲解的例子模型 A.prt 为例，讲解预应力模态分析的建立和分析过程。

（1）建立预应力模态分析

❑ 打开零件 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

❑ 选择【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

❑ 在“分析和研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建预应力分析】→【模态】命令，系统弹出“预应力静态分析定义”对话框。

❑ 选中【约束】列表框中的“ConstraintSet1”约束集选项，使其高亮显示，点选其后的【受约束】单选按钮。

❑ 单击【模式】选项卡，点选【模式数】单选按钮，调节【模式数】微调框中数值为 5，在【最小频率】文本框中键入 20，“预应力模态分析”对话框设置如图 8.68 所示；

❑ 单击【前一分析】选项卡中【载荷集】列表框中的“LoadSet1”载荷集选项，使其高亮显示，在【载荷比例因子】文本框中键入 1。

❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成预应力模态分析的建立。

❑ 选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.69 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

（2）获取分析结果

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的预应力模态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 选中【研究选取】列表框中模式 2，使其高亮显示，在【显示类型】下拉列表框

中选择“Graph”选项，单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项，单击【图像位置】选项组中【选按钮】，系统弹出模型阅览窗口和“选取”对话框，在预览窗口中选择一边，如图 8.70 所示。

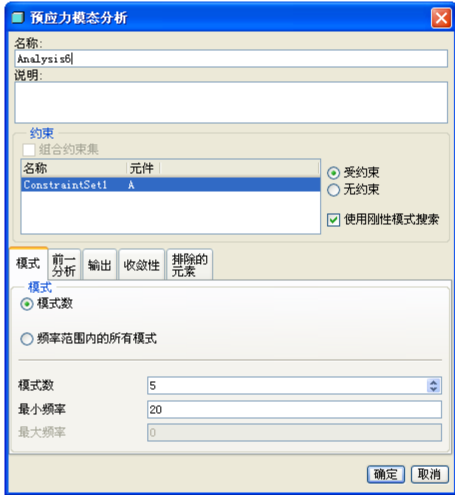


图 8.68 “预应力模态分析”对话框

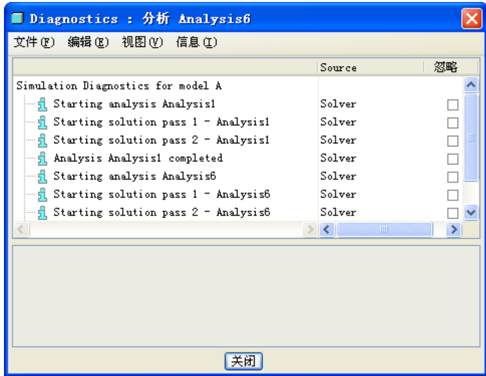


图 8.69 “诊断”对话框

❑ 单击【确定】按钮，完成边线的选取，返回“结果窗口定义”对话框，如图 8.71 所示。

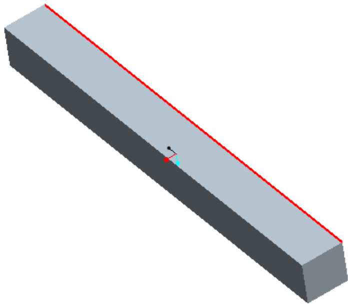


图 8.70 选取的边线

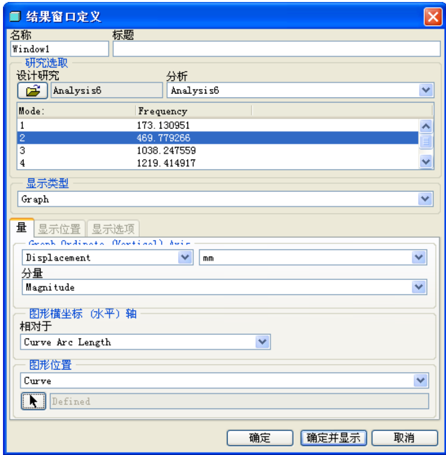


图 8.71 “结果窗口定义”对话框

❑ 其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.72 所示。

❑ 退出结果窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选中【分析和设计研究】列表框中的预应力模态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 在【显示类型】下拉列表框中选择“Vectors”选项。

❑ 单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项。

❑ 单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】、【显示约束】复选框。

其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 8.73 所示。

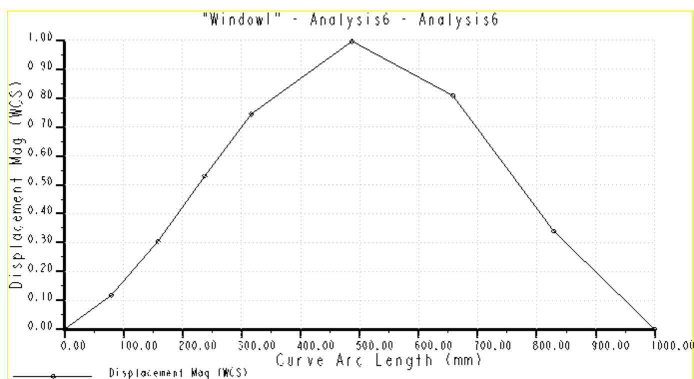


图 8.72　边线的变形曲线

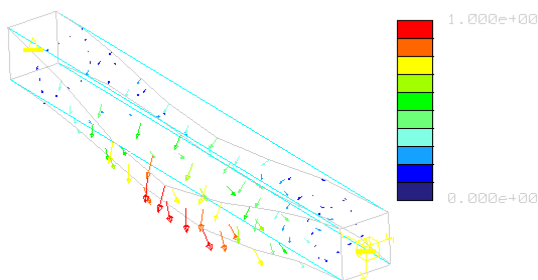


图 8.73　线框变形图

8.3　动态分析

动态分析包括动态时域分析、动态频域分析、动态冲击分析、动态随机分析 4 种。它是研究零件受到载荷作用下，随时间、频率、频谱以及一定功率频谱密度函数（PSD）的反应。可以计算出零件在不同时间、频率、频谱以及一定功率频谱密度函数（PSD）下的位移、速度、加速度以及模型应力等物理量，还可以计算出自定义测量项。

8.3.1　动态时域分析

【动态时域分析】用于研究系统对于随时间变化的载荷（非周期载荷和脉冲载荷）的反应。所以，计算时需要输入载荷的时间关系方程。

在 Pro/Mechanica 的分析中，计算出在时间变化的载荷下，不同时间的位移、速度、加速度以及模型应力等。此外，还可以根据需要创建不同的测量值。

在进行动态时域分析时，必须先定义测量（Measures）项目，测量的定义在动态分析里非常重要。虽然 Pro/Mechanica 对其他分析都提供了一些默认的静态和模态测量项目，但是对动态时域分析却没有。因此，自定义的测量项目才是仅有的测量项目。通过测量项目，可以得到模型中各测量项目的不同结果。

运行动态时域分析的条件：

❑ 先生成一个模态分析。

❑ 一个以上的约束和载荷集。

1．新建动态时域分析

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建动态分析】→【时间】命令，系统弹出“动态时间分析定义”对话框，如图 8.74 所示。

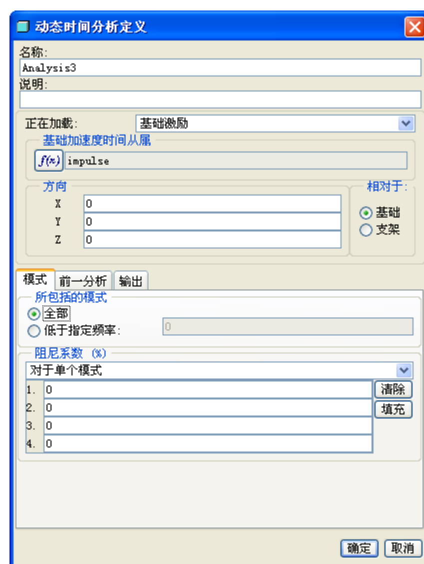


图 8.74　“动态时间分析定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建动态时间分析的名称，系统默认为 Analysis＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建动态时间分析的简要说明，以区分其他分析便于识别。

（3）【正在加载】下拉列表框用于定义新建动态时间分析所施加的载荷，有 2 种方式载荷：载荷函数、基础激励。

❑ 载荷函数，如图 8.75 所示，用于设置施加到分析零件上的载荷。勾选【累计载荷集】复选框表示使用多个载荷集累计作用零件进行分析；选中列表框中载荷集前的复选框，表示该载荷集被加载到零件上用于进行分析，其后的函数表示该载荷在施加到零件上所起到的作用。

❑ 基础激励，如图 8.76 所示，用于设置施加到分析零件上的加速度。在【方向】

选项组中【X、Y、Z】文本框中键入方向向量用于定义加速度的方向；点选【相对于】选项组中【基础】或【支架】单选按钮，表示方向向量的参照对象为基础或支架。

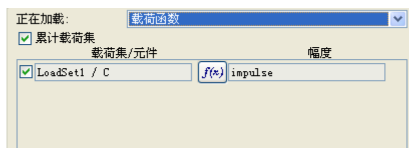


图 8.75　载荷函数

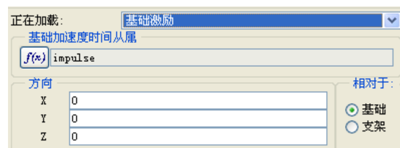


图 8.76　基础激励

（4）【模式】选项卡用于定义作用于分析零件上的模式，包括环境频率和阻尼。

❑　点选【全部】单选按钮，表示零件在全部频率范围内进行分析；点选【低于指定频率】单选按钮，在其后文本框中键入零件的分析环境频率。

❑　【阻尼系数（%）】选项组用于定义在分析中分派阻尼因子到模型中。阻尼的因子是临界的阻尼百分比。100%就表示模型不在振动。阻尼因子越小就意味零件摆动越大。选择下拉列表框中的“对于所有模式”选项，表示分派惟一的阻尼因子到所有模式上，在其下文本框中键入阻尼系数；选泽“对于单个模式”选项，表示分派各自的阻尼因子给各模型，在列表框中 1～4 文本框中键入分派的阻尼因子；选择“频率函数”选项定义阻尼当作频率的函数，单击【函数】按钮$f(x)$，系统弹出“函数定义”对话框，如图 8.77 所示，在该对话框中编辑频率函数。

（5）【前一分析】用于定义动态时间分析所使用的已有的设计研究、模态分析、约束集。

（6）【输出】选项组，如图 8.78 所示，该选项卡用于定义动态时间分析所需要计算的内容，以及所输出计算结果的时间间隔。

❑　勾选【应力】复选框，表示系统计算应力。如果不需要应力结果，就取消该选项。

❑　勾选【旋转】复选框，表示系统计算出整个模型各 WCS 轴的旋转。如果模型包括 3 D 实体、 2 D 实体或 2 D 平面元素，那么勾选该复选框，系统也不会计算旋转。

❑　勾选【质量参与因子】复选框，表示系统计算质量参与因子。

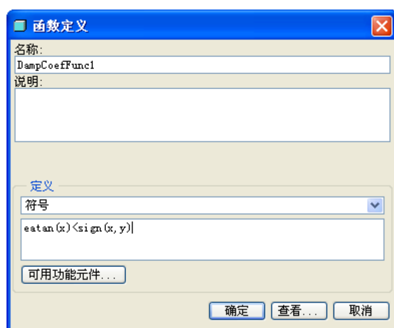


图 8.77　“函数定义”对话框

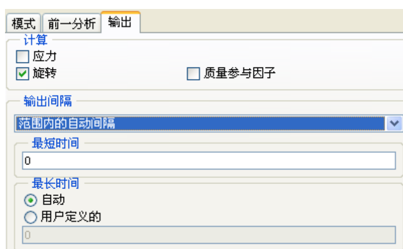


图 8.78　【输出】选项组

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态时间分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.79 所示，该对话框的内容参见静态分析中所对于的内容。

3．实例

下面以如图 8.80 所示图形为例，讲解动态时间分析的创建和分析过程。

要求：零件为碳钢，固定板固定在墙上，悬臂梁受到 1000KN 力和 500N・m 作用，试分析零件随时间变化的分析结果。

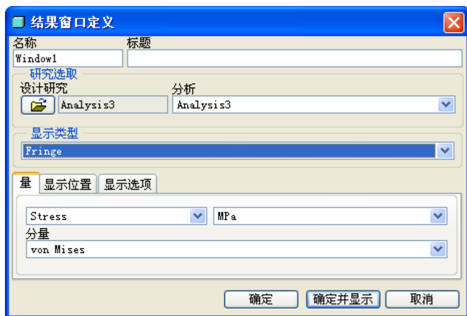


图 8.79 “结果窗口定义”对话框

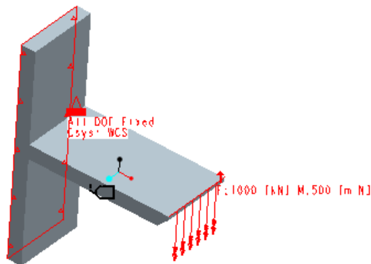


图 8.80 分析对象

（1）建立模型

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 C，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框；

❑ 在“新文件选项”对话框中列表框中选中“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

❑ 单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

❑ 绘制如图 8.81 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 1000，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

（2）分派材料

❑ 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“STEEL.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中，单

击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，此时对话框如图 8.82 所示，完成模型材料的分配，效果如图 8.82 所示。

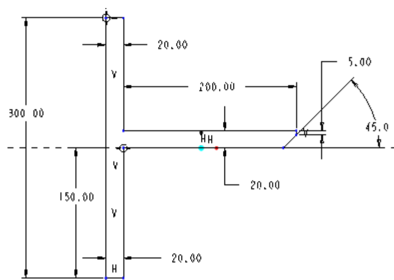


图 8.81　草图

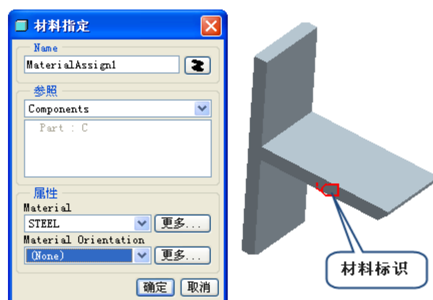


图 8.82　“材料指定”对话框和分配材料后的模型

（3）定义载荷

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩载荷（L）】命令，系统弹出“力/力矩载荷”对话框；

❑　选择【参照】下拉列表框中“Edges/Curves”选项，在 3D 模型中选择悬臂梁的边线，如图 8.83 所示。

❑　在【力】选项组中【Y】文本框中键入-1000，选择其下下拉列表框中“kN“单位选项。

❑　在【力矩】选项组中【Y】文本框中键入-500，选择其下下拉列表框中“mN“单位选项，“力/力矩载荷”对话框的设置如图 8.84 所示。

❑　其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成载荷的定义。

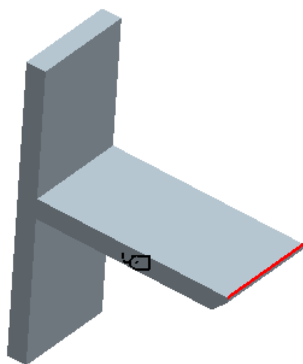


图 8.83　选择的载荷加载边线

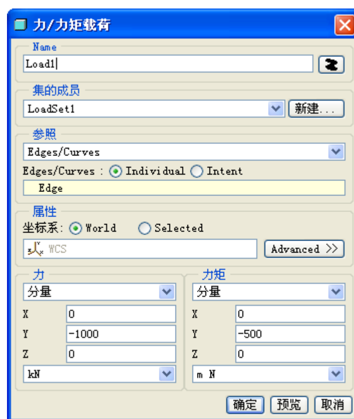


图 8.84　“力/力矩载荷”对话框

（4）定义约束

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“约束”对话框。

❑　选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择固定板固定

面，如图 8.85 所示。

❑ 选中【平移】和【旋转】选项组中 X、Y、Z 轴的固定按钮，单击【确定】按钮，完成模型的约束定义。

（5）定义测量

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【模拟测量】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【模拟测量（A）】命令，系统弹出“测量定义”对话框。

❑ 选择【量】下拉列表框中的“应力”选项，选择【空间评估】下拉列表框中“最大值”选项和“整个模型”选项，勾选【时间/频率评估】复选框，然后选择【动态评估】下拉列表框中的“每个步骤处”选项，对话框的设置如图 8.86 所示。

❑ 在 3D 模型中选择悬臂梁的上表面，如图 8.87 所示，单击【确定】按钮，完成测量的定义。

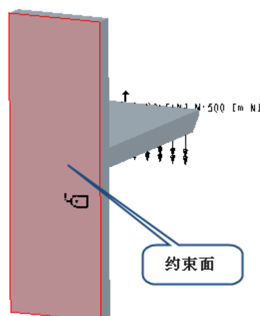


图 8.85　约束面

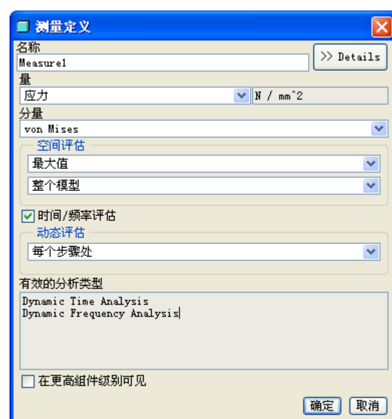


图 8.86　“测量定义”对话框

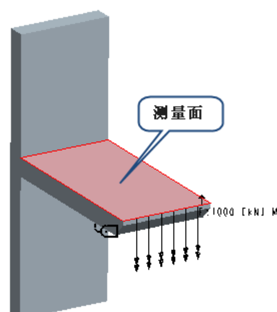


图 8.87　选择的测量面

（6）建立模态分析并运行

❑ 选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建模态分析】命令，系统弹出“模态分析定义”对话框。

❑ 选择【约束】列表框中的“ConstraimtSet1”约束集选项，点选其后的【手约束】单选按钮。

❑ 单击【模式】选项卡，点选【模式数】单选按钮，在【模式数】微调框中键入 5，【最小频率】文本框中键入 20。

❑ 单击【输出】选项卡，勾选【应力】、【旋转】、【反作用】、【局部应力误差】复选框，其他选项为默认值，对话框的设置如图 8.88 所示，单击【确定】按钮，完成模态分析的建立。

❑ 选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统

开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.89 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

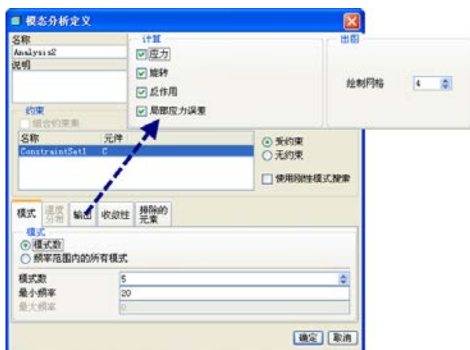


图 8.88　“静态分析定义”对话框

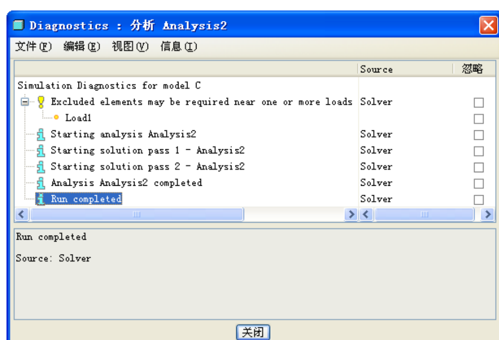
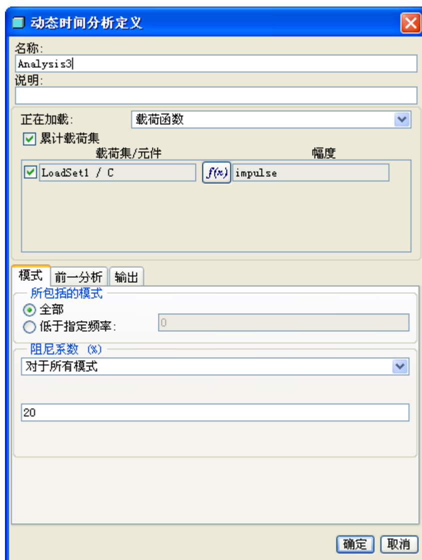


图 8.89　“诊断”对话框

（7）建立动态时间分析并运行

- 关闭“诊断”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建动态分析】→【时间】命令，系统弹出“模态分析定义”对话框。
- 选择【正在加载】下拉列表框中“载荷函数”选项，勾选【累计载荷集】、【LoadSet1/C】复选框。
- 单击【模式】选项卡，点选【所包括的模式】选项组中的【全部】单选按钮，选中【阻尼系数（%）】下拉列表框中“对于所有模式”选项，在其下文本框中键入 20。
- 其他选项为默认值，对话框的设置如图 8.90 所示，单击【确定】按钮，完成动态时间分析的创建。



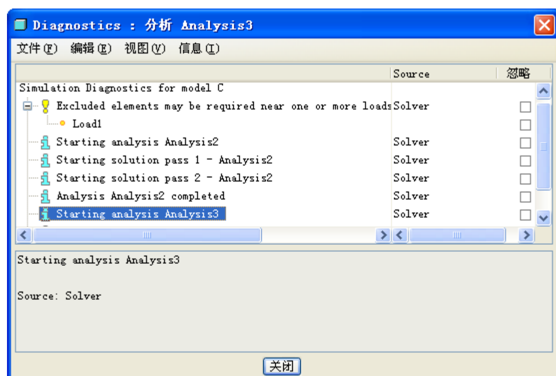


图 8.90　“动态时间分析定义”对话框　　　　图 8.91　“诊断”对话框

❑ 选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.91 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

（8）获取分析结果

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态时间分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 选中【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

❑ 单击【量】选项卡中【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，如图 8.92 所示，选中【用户定义的】列表框中“Messure1”测量项，使其高亮显示，单击【确定】按钮。

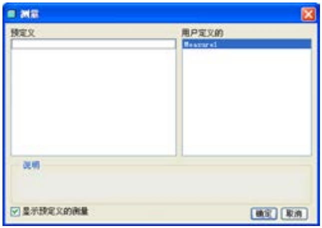


图 8.92 “测量”对话框

❑ 选择【图形位置】下拉列表框中的“Time”选项，单击【确定并显示】按钮，完成结果的获取，效果如图 8.93 所示。

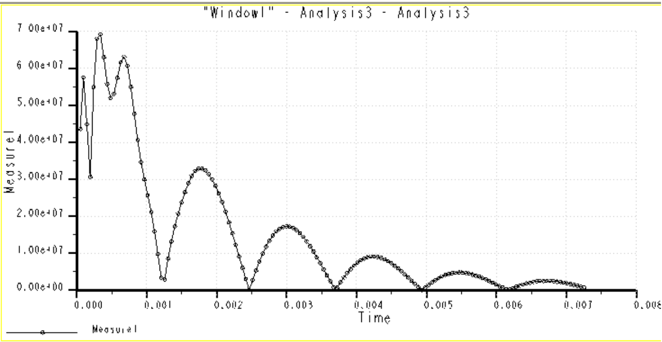


图 8.93 压力动态时域分析曲线

8.3.2 动态频域分析

【动态频域分析】用于研究系统对于随频率变化的载荷（周期载荷或循环载荷）的反应。动态频域分析可以显示不同频率间隔的结果。计算时需要输入载荷的频率和幅值。

在动态时域分析中，Pro/Mechanica 计算出在不同的频率载荷下，不同频率的位移、速度、加速度以及模型的应力等。此外，还可以根据需要创建不同的测量值。

在进行动态频域分析时，必须先定义测量项目，测量的定义在动态分析里非常重要。虽然 Pro/Mechanica 对其他分析都提供了一些默认的静态和模态测量项目，但是对动态频域分析却没有。因此，自定义的测量项目才是仅有的测量项目。通过测量项目，可以得到模型中各测量项目的不同结果。

运行动态时域分析的条件：

- ❑ 先生成一个模态分析
- ❑ 一个以上的约束或载荷集

1．新建动态频域分析

在“分析和设计研究”对话框中，选择下拉列表框中【文件（F）】→【新建动态分析】→【频率】命令，系统弹出“动态频域分析定义”对话框，如图 8.94 所示，该对话框的内容与“动态时域分析”对话框基本相同，不同之处是在【正在加载】下拉列表框中选择“载荷函数”选项，如图 8.95 所示，列表框中增加了“相变（弧度）”；增加【包括表函数的频率步长】复选框，表示表函数的频率步长应用到该分析中。

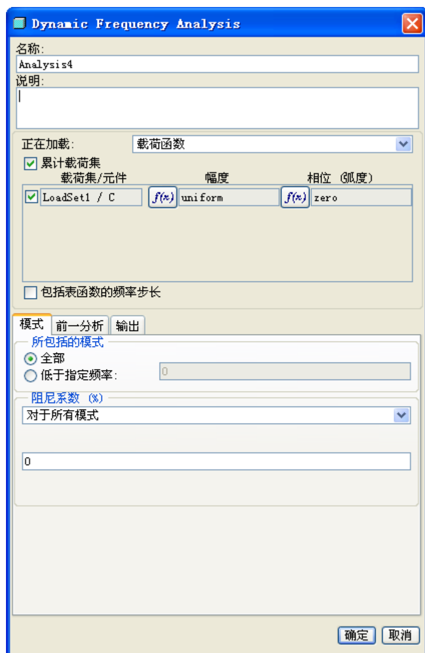


图 8.94　“动态频域分析”对话框

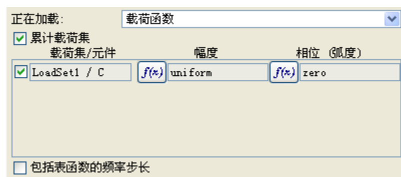


图 8.95　选择“载荷函数”选项

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态频域分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.96 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。



图 8.96　“结果窗口定义”对话框

（2）【标题】文本框用于定义新建分析结果的标题，如应力变化曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建分析结果窗口的设计研究，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录。

（4）【显示类型】下拉列表框用于只有“Graph（曲线）”一种类型显示分析结果。

（5）【量】选项卡用于定义分析结果所显示的量。单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，在该对话框中选择已定义的测量。在【图形位置】下拉列表框中选择“Frequency（频率）”选项，表示分析结果显示测量与频率之间的关系。

3．实例

下面以本小节中的模型 C.prt 为例，讲解动态频域分析的创建和分析过程。

（1）打开模型 C.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建动态分析】→【频率】命令，系统弹出“动态频率分析定义”对话框。

（4）在【正在加载】下拉列表框中选择“载荷函数”选项，勾选【包括表函数的频率步长】复选框。

（5）单击【模式】选项卡，如图 8.97 所示，选择【阻尼系数（%）】下拉列表框中的“对于所有模式“选项，在其下的文本框中键入 20。

（6）单击【输出】选项卡，如图 8.98 所示，勾选【计算】选项组中的【应力】、【旋转】复选框，旋转【输出间隔】下拉列表框中的“范围内的自动间隔”选项，在【Minimum Frequency】文本框中键入 5。

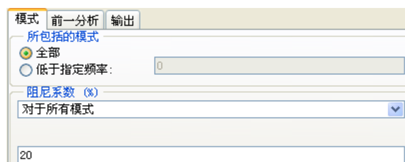


图 8.97　【模式】选项卡



图 8.98　【输出】选项卡

（7）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成动态频域分析的创建。

（8）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.99 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

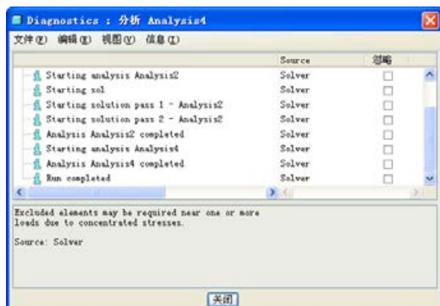


图 8.99　诊断窗口

（9）在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态频域分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮 ，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（10）选中【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（11）单击【量】选项卡，单击【测量】按钮 ，系统弹出“测量”对话框，选中【用户定义的】列表框中“Messure1”测量项，使其高亮显示，单击【确定】按钮。

（12）其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，系统弹出结果曲线，如图 8.100 所示。

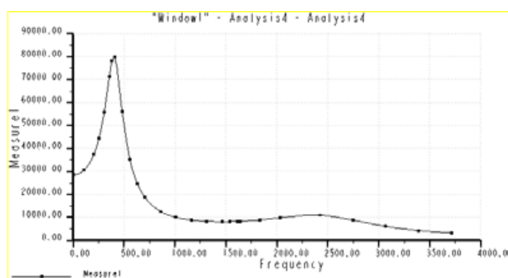


图 8.100　动态频域分析曲线

8.3.3　动态冲击分析

在 Pro/Mechanica 中，动态冲击分析是用来研究由于反应频谱所引起的系统反应，其载荷输入通常是一个带有位移、速度或加速度等反应频谱的基本激发元素。因此，动态冲击分析不适合分析那些会因时间而变化的载荷所引起的反应。

动态冲击分析中，系统可以计算通过反应频谱等基本激发元素，所引起的最大的位移和应力结果。可以使用动态冲击分析来研究类似地震的现象，但是不能将其用于脉冲输入所引起的反应。

运行动态冲击分析的条件：

- 先生成一个模态分析。
- 一个以上的约束和载荷集。

1．新建动态冲击分析

在“分析和设计研究”对话框中，选择下拉【文件（F）】→【新建动态分析】→【冲击】命令，系统弹出“冲击分析定义”对话框，如图 8.101 所示，该对话框的内容与“动态时域分析”对话框基本相同，区别部分如下：

（1）只能加载基础激励，在【基础激励的方向】选项组中定义基础激励的方向向量。

（2）【响应谱】选项卡，如图 8.102 所示，该选项卡用于定义进行冲击分析响应谱的光谱方式和模态组合方法。

（3）【输出】选项卡，如图 8.103 所示，该选项卡只能设置输出的计算对象：应力、旋转、质量参与因子。

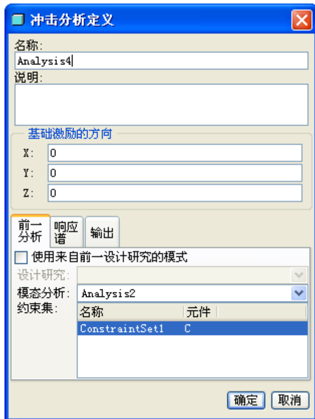


图 8.101　“冲击分析定义”对话框

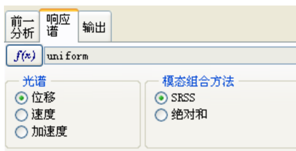


图 8.102　【响应谱】选项卡

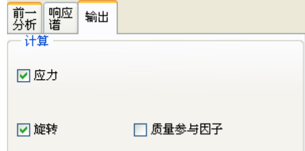


图 8.103　【输出】选项卡

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态冲击分

析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.104 所示，该对话框的内容与静态分析相应对话框的内容基本相同，这里就不在重复介绍。



图 8.104　“结果窗口定义”对话框

3．实例

下面以本小节中的模型 C.prt 为例，讲解动态冲击分析的创建和分析过程。

（1）打开模型 C.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建动态分析】→【冲击】命令，系统弹出“动态频率分析定义”对话框。

（4）在【基础激励的方向】选项组中【Y】文本框中键入 1，如图 8.105 所示。

（5）单击【相应谱】选项卡，点选【光谱】选项组中【加速度】单选按钮，点选【模态组合方法】选项组中【绝对和】单选按钮。

（6）单击【输出】选项卡，勾选【应力】、【旋转】、【质量参与因子】复选框。

（7）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成动态冲击分析的定义。

（8）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.106 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

（9）在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态冲击分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（10）在【显示类型】下拉列表框中选择“Graph”选项。

（11）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项，选择【图形横坐标（水平）轴】选项组中【相对于】下拉列表框中的“Curve Arc Length”选项。

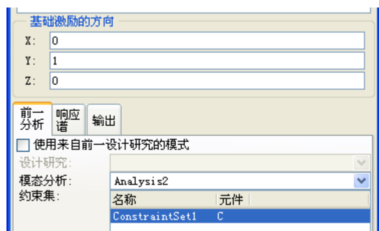


图 8.105　基础激励的方向

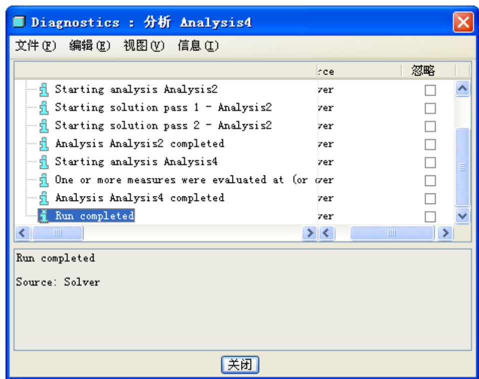


图 8.106　诊断窗口

（12）选择【图形位置】下拉列表框中的“Curve”选项，单击【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模型预览窗口，选择图形的一条边，如图 8.107 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（13）其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，分析结果曲线如图 8.108 所示。

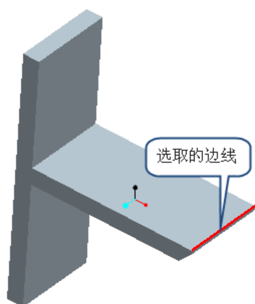


图 8.107　选取的边线

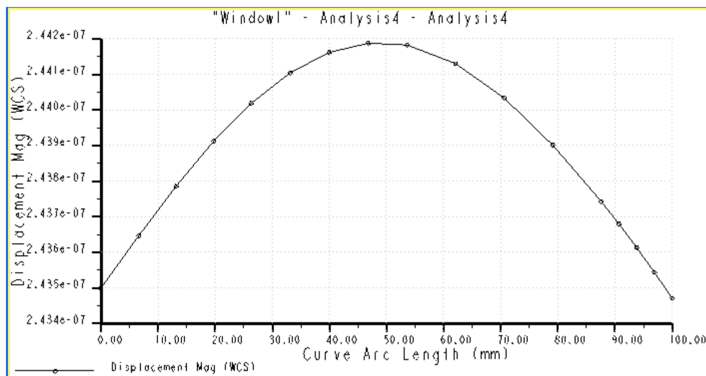


图 8.108　动态冲击边线曲线

8.3.4　动态随机分析

在工业产品中，有很多零件是会受随机振动影响的。例如，行驶于路面不平的汽车，汽车上的所有零件都会受到振动；风或气流引起房屋和飞机的结构振动；海浪的拍打而引起船舶的振动；噪声所引起的工地结构振动等。在振动中，有些是确定性的常态振动，有些则是随机的。

在 Pro/Mechanica 中，随机振动分析功能用来研究系统对一定功率频谱密度函数（PSD）的反应。载荷输入是在一定频率范围内的力或加速度的频谱密度函数。由于频谱密度函数是根据时间取样的，所以取样时间越长，曲线的准确度就越高。

在随机振动中，Pro/Mechanica 能够根据指定的功率频谱函数载荷输入，来计算模型中指定点的位移、速度、加速度和应力等的功率频谱密度。

运行随机振动分析的条件：

- ❑ 先生成一个模态分析。
- ❑ 一个以上的约束或载荷集。

1．建立动态随机分析

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建动态分析】→【随机】命令，系统弹出“动态随机分析定义”对话框，如图 8.109 所示，该对话框的内容与“动态时域分析”对话框基本相同，只有【输出】选项卡中【计算】选项组不同。该选项卡只能输出位移和应力的完整 RMS 结果。

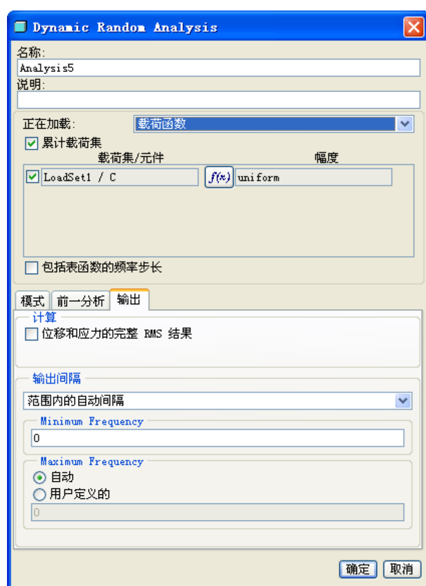


图 8.109　“动态随机分析定义”对话框

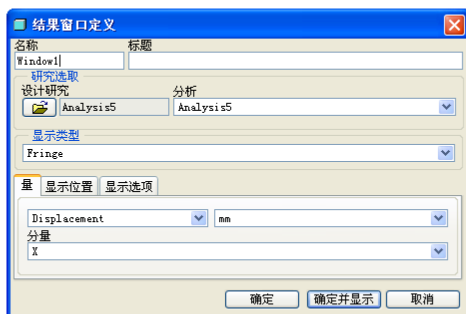


图 8.110　“结果窗口定义”对话框

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态随机分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 8.110 所示，该对话框的内容与静态分析相应对话框的内容基本相同，只是有部分选项中内容有所减少，具体如下：

（1）在【显示类型】下拉列表框列出 Fringe、Graph、Model3 种显示形式。

（2）【量】下拉列表框中列出 Stress（压力）、Displacement（变形）、Velocity（速度）、Acceleration（加速度）4 种模量。

3．实例

下面以本小节中的模型 C.prt 为例，讲解动态随机分析的创建和分析过程。

（1）打开模型 C.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命

令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建动态分析】→【随机】命令，系统弹出“动态频率分析定义”对话框。

（4）在【正在加载】下拉列表框中选择“载荷函数”选项，选中“LoadSet1/C”前的复选框，勾选【包括表函数的频率步长】复选框。

（5）单击【模式】选项卡，选择【阻尼系数（%）】下拉列表框中“对于所有模式”选项，在其下的文本框中键入 50。

（6）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中的【位移和应力的完整 RMS 结果】复选框，选中【输出间隔】下拉列表框中的“范围内的自动间隔”选项，在【Minimum Frequency】文本框中键入 20。

（7）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成动态随机分析定义。

（8）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，如图 8.111 所示，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

（9）在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的动态随机分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（10）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（11）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项，选择【分量】下拉列表框中的“X”选项。

（12）单击【显示选项】选项卡，勾选【轮廓】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（13）其他选项为默认值，单击【确定并显示】按钮，结果显示如图 8.112 所示。

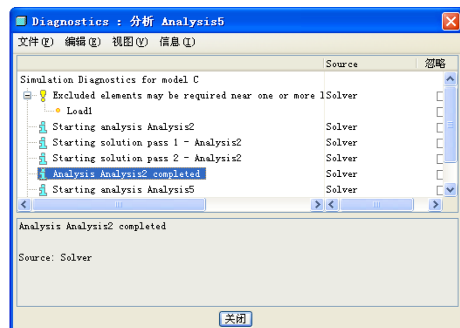


图 8.111　诊断窗口

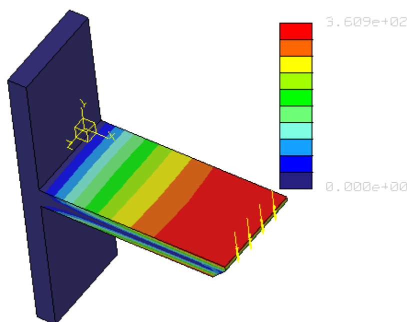


图 8.112　变形条纹图

8.4　设计研究

有限元分析的最终目的就是为了进行优化设计。优化设计就是计算满足给定约束条件下的目标函数的极大值。如要求零件在满足不超过许用应力条件下，其质量最轻。类似的优化问题，在计算设计中大量存在。在优化设计前，需要对设计参数进行筛选。通过筛选，确定对优化目标函数影响最大的设计参数。敏感度分析可以完成参数筛选工作，为进一步的优化奠定基础。

8.4.1　标准设计研究

标准设计研究是一种定量分析工具。通过对模型中的设计参数进行设置，分析其对模型性能的影响情况。

1．新建标准设计研究

在“分析和设计研究”对话框中，选择【文件（F)】→【新建标准设计研究】命令，系统弹出“标准研究定义”对话框，如图 8.113 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建标准研究的名称，系统默认为 study＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建标准研究的简要说明，以区分其他设计研究。

（3）【分析】列表框显示定义用于进行标准研究的分析，可以多选，选中的越多分析就越慢，选中的分析为高亮显示。

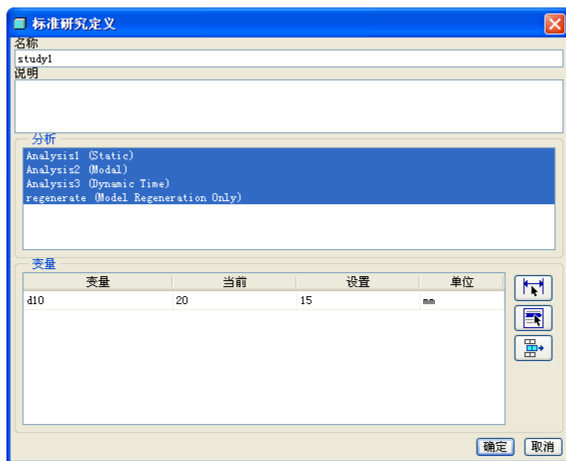


图 8.113　“标准研究定义”对话框

（4）【变量】列表框用于显示和设置模型尺寸的数值。

❑ 单击右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，然后选

中模型，模型的设计尺寸就显示出来，如图 8.114 所示，单击所研究的尺寸，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“标准研究定义”对话框，选择的尺寸就添加到【变量】列表框中。单击【设置】文本框，输出所要研究的尺寸数值。

- 单击【从模型中选取参数】按钮，系统弹出“选取参数”对话框，如图 8.115 所示，在列表框中选择所需的参数，单击【Strain】按钮，返回“标准研究定义”对话框，选中的参数就被添加到【变量】列表框中，单击【设置】文本框，对其进行赋值。
- 单击【删除所选行】按钮，在【变量】列表框中选中的参数就被移除掉，不再进行设计研究。

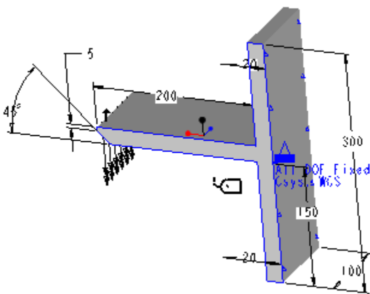


图 8.114　显示尺寸的模型

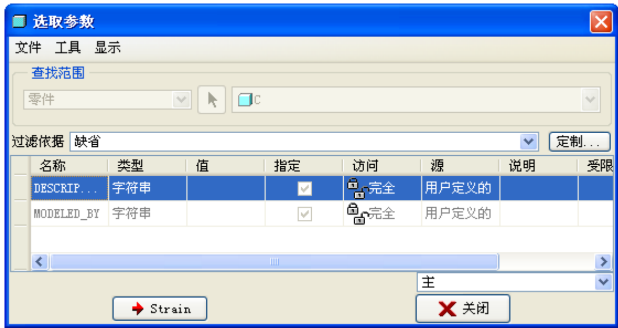


图 8.115　“选取参数”对话框

2．获取研究结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的标准研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，该对话框的内容参见静态分析中相应内容。

3．实例

下面以本小节中介绍的 c.prt 为例，讲解标准设计研究的创建和分析过程。

（1）打开模型 C.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建标准设计研究】命令，系统弹出“标准研究定义”对话框。

（4）选中【分析】列表框中所有分析，单击【变量】列表框右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框。

（5）在工作区中选中 3D 模型，然后选中悬臂梁的厚度尺寸 20，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“标准研究定义”对话框，如图 8.116 所示。

（6）单击【设置】列中 d10 对应的文本框，键入 10，单击【确定】按钮，返回“分

析和设计研究”对话框。

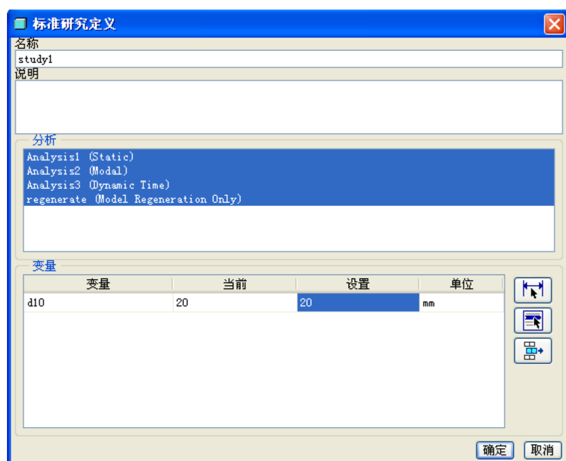


图 8.116　“标准研究定义”对话框

（7）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】工具按钮，系统弹出“是否要运行交互诊断？”询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始进行分析，大约几分钟后，系统弹出“诊断”对话框，该对话框显示分析过程中出现的问题以及分析步骤。

（8）在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的标准设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（9）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（10）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Displacement”选项，选中其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

（11）单击【显示选项】选项卡，勾选【显示载荷】和【显示约束】复选框，单击【确定并显示】按钮，模型的变形条纹如图 8.117 所示。

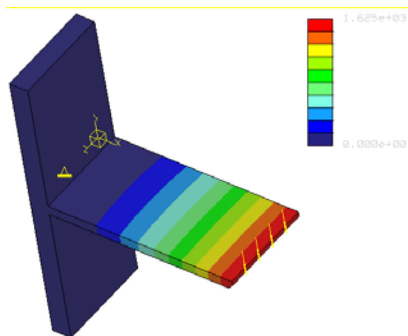


图 8.117　t=10mm 变形条纹图

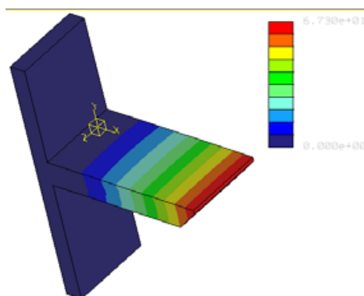


图 8.118　t=30mm 变形条纹图

（12）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选中刚才创建标准设计研究，单击工具栏上的【编辑研究】按钮，或选择菜单栏中的【编辑】→【分析/

研究】命令，系统弹出“标准研究定义”对话框。

（13）单击【设置】列中 d10 对应的文本框，键入 30，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框。

（14）重复第 7～11 步，模型的变形条纹如图 8.118 所示，可见在改变悬臂梁板厚，悬臂梁的变形发生变化，t＝10mm 板厚变形范围大于 t＝30mm 板厚的变形范围。

8.4.2 敏感度设计研究

敏感度分析是一种定量分析工具，研究设计参数对模型性能的影响情况。在敏感度分析中，这种定量分析是通过运行局部敏感度分析来完成的。如果确定了主要设计参数，可以运用局部敏感度分析方法来确立参数的变化范围。在这个范围内，寻找最佳的设计。

1．建立敏感度设计研究

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建敏感度设计研究】命令，系统弹出“敏感度研究定义”对话框，如图 8.119 所示。

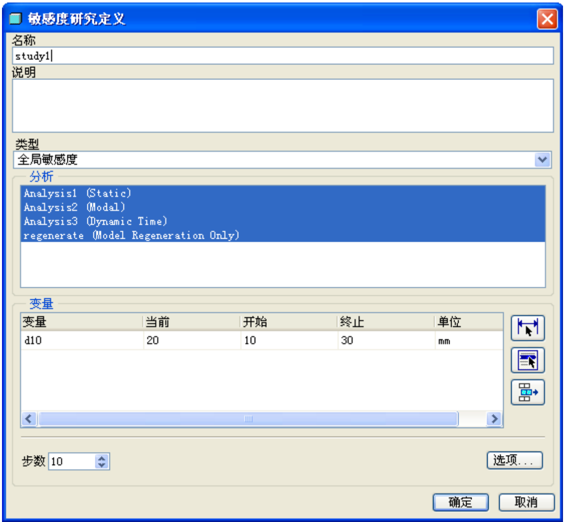


图 8.119　“敏感度研究”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建敏感度研究的名称，系统默认为 study＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建敏感度研究的简要说明，以区分其他设计研究。

（3）【类型】下拉列表框用于定义敏感度研究的类型：

❑ 局部敏感度分析：就是用来对设计参数进行一种定量分析。它将对模型参数的动态变化过程来进行分析，以研究参数对模型性能的影响情况。即就是研究模型特定变化对于参数变化的灵敏程度。同时，可显示特定设计参数的改变是否对研究目标有较大的

影响，从而缩小研究范围。

❑ 全部敏感度分析：使用这种分析可以选择一个或多个在一定范围内变化模型参数进行敏感度分析，并以图形方式显示研究目标随着设计参数变化的情况。进行全局敏感度分析，可以用来确定参数对模型某一性能的整体影响，尤其对于参数在变化过程中可能引起的突变，这个方法就显得更为重要。

（4）【分析】列表框显示定义用于进行标准研究的分析，可以多选，选中的越多分析就越慢，选中的分析为高亮显示。

（5）【变量】列表框用于显示和设置模型尺寸的数值。具体的使用方法参见标准设计研究相关内容。

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的敏感度研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，该对话框的内容参见静态分析中相应内容。

3．实例

下面以单槽带轮为例，讲解敏感度设计研究的创建、分析过程。

要求：为例减轻带轮的惯性和质量，在带轮轴的四周设计了 6 个减重孔，孔直径在 30～50mm 之间。

（1）创建简化模型

❑ 选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 D，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

❑ 在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

❑ 单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Topt 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

❑ 绘制如图 8.120 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 20，单击其后的【完成】按钮，完成模型的基础轮廓设计。

❑ 使用【孔】、【镜像】工具在直径 120mm 的圆周上创建直径为 40mm 的 6 个圆孔，效果如图 8.121 所示。

（2）分配材料

❑ 选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的

【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“STEEL.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，完成模型材料的分配。

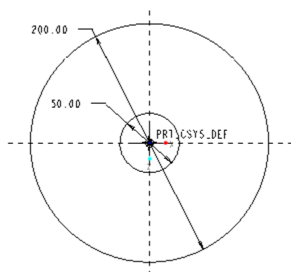


图 8.120　草图

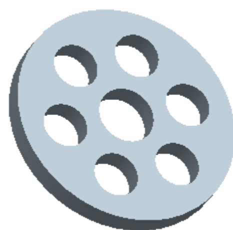


图 8.121　简化后的带轮

（3）定义约束

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“约束”对话框。

❑ 单击【参照】列表框中的空白，在 3D 模型中选中轴孔曲面，选中【旋转】选项组中【Y】选项组中【自由】按钮，其他选中【固定】按钮，如图 8.122 所示。

❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成轴孔位移约束的创建，效果如图 8.123 所示。

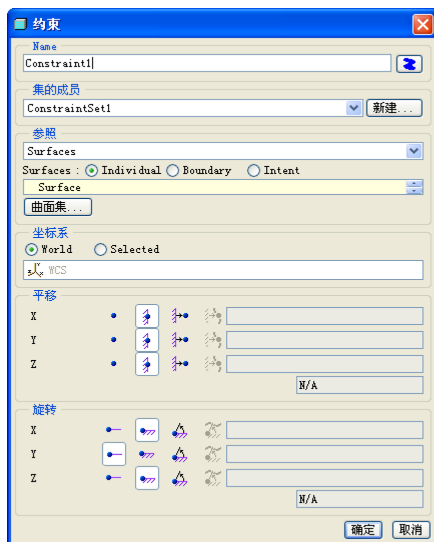


图 8.122　“约束”对话框

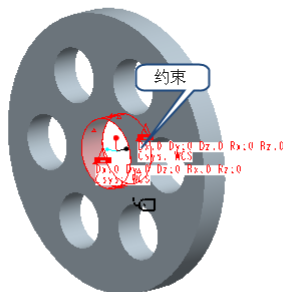


图 8.123　创建的位移约束

（4）定义载荷

❑ 单击“Mechanica 对象”工具栏上的【曲面区域】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【曲面区域（U）】命令，控制面板中显示创建曲面区域工具按钮。

❑　单击【参考】选项卡中【定义】按钮，系统弹出“草绘”对话框，选择 Top 平面作为草绘平面，使用【样条】工具绘制如图 8.124 所示草图。

❑　单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，单击控制面板中【曲面】文本框，在 3D 模型中选择欲创建曲面区域的半圆周曲面，单击其后的【完成】按钮，完成曲面区域的创建，效果如图 8.125 所示。

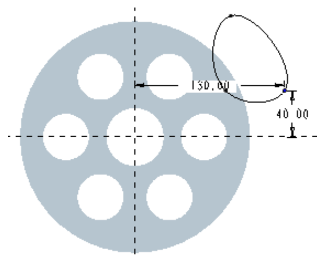


图 8.124　绘制的草图

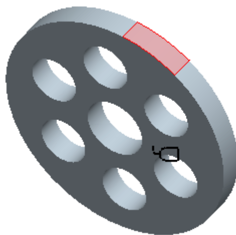


图 8.125　创建的曲面区域

❑　单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩载荷（L）】命令，系统弹出“力/力矩载荷”对话框。

❑　在【参照】下拉列表框中选择“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择刚才创建的曲面区域，在【力】下拉列表框中选择“分力”选项，在【X】、【Y】文本框中分别键入 50、100，选中其下拉列表框中的“N”选项，此时对话框的设置如图 8.126 所示，单击【确定】按钮，完成压力载荷的创建，效果如图 8.127 所示。

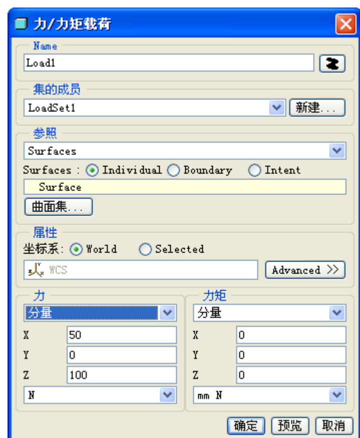


图 8.126　“力/力矩载荷”对话框

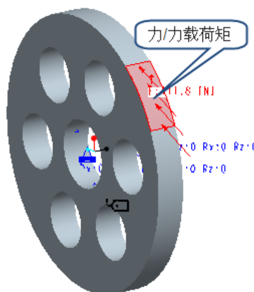


图 8.127　创建的力/力矩载荷

（5）新建静态分析并运行

❑　选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

❑　在对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框，勾选【输出】选项卡中【计算】选项组中【应力】、【旋

转】、【反作用】复选框。

- ❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示静态分析过程以及分析出现的问题。
- ❑ 关闭“诊断”对话框，保存分析结果以便输出分析结果。

（6）进行布局敏感度设计研究并运行

- ❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建敏感度设计研究】命令，系统弹出“敏感度研究定义”对话框。
- ❑ 选择【类型】下拉列表框中的“局部敏感度”选项，选中【分析】列表框中的分析选项。
- ❑ 单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，然后选中模型，模型的设计尺寸就显示出来，选中 Ø40mm 的圆孔尺寸，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“标准研究定义”对话框，选择的尺寸就添加到【变量】列表框中，设置数值 d3 为 45。
- ❑ 使用同样的方法，添加减重孔中心到轴孔中心距 60 尺寸到列表框中，设置 d5 数值为 65，如图 8.128 所示。



图 8.128 “敏感度研究”对话框

- ❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成敏感度研究的创建，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示静态分析过程以及分析出现的问题。
- ❑ 关闭“诊断”对话框，保存分析结果以便输出分析结果。

（7）获取研究结果

- ❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中敏感度研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑　选择【显示类型】下拉列表框中的“Grahp”选项。

❑　单击【量】选项卡，选择【Grahp Ordinate（Vertical）Axis】列表框中的“Measure”选项，单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，选中【预定义】列表框中的“Total_mass”选项，单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

❑　选择【图形位置】下拉列表框中的“Design Var”和“d3：D”选项，单击【确定并显示】按钮，总质量与 d3 尺寸参数的关系曲线如图 8.129 所示。

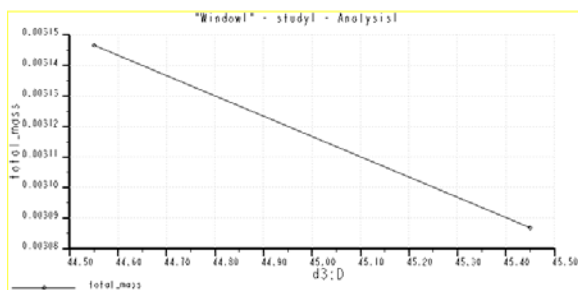


图 8.129　总质量与 d3 尺寸参数关系曲线

❑　退出显示结果窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中敏感度研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑　选择【显示类型】下拉列表框中的“Grahp”选项。

❑　单击【量】选项卡，选择【Grahp Ordinate（Vertical）Axis】列表框中的“Measure”选项，单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，选中【预定义】列表框中的“Total_mass”选项，单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

❑　选择【图形位置】下拉列表框中的“Design Var”和“d5：D”选项，单击【确定并显示】按钮，总质量与 d3 尺寸参数的关系曲线如图 8.130 所示。

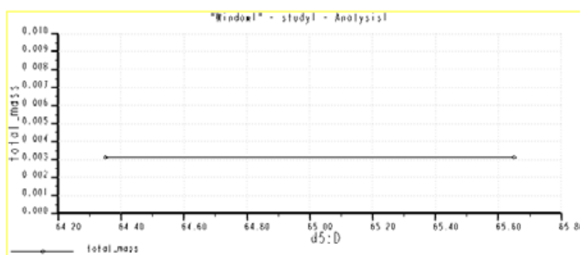


图 8.130　总质量与 d5 尺寸参数关系曲线

可见改变孔的直径，对质量有显著的影响，而改变两孔间距对质量没有影响。因此，对于质量最小的优化目标就是减重孔的直径，减重孔的直径可以作为优化设计的参数。

（8）建立全局敏感度设计研究

❑　在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建敏感度设计研究】命令，系统弹出“敏感度研究定义”对话框。

❑　选择【类型】下拉列表框中的“全局敏感度”选项，选中【分析】列表框中的分

析选项。

❑ 单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，然后选中模型，模型的设计尺寸就显示出来，选中 Ø40mm 的圆孔尺寸，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“标准研究定义”对话框，选择的尺寸就添加到【变量】列表框中，设置开始和终止数值为 30、50。

❑ 单击右下角【选项】按钮，系统弹出“设计研究选项”对话框，如图 8.131 所示，勾选【重复 P 环收敛】复选框，单击【关闭】按钮，返回“敏感度研究定义”对话框。

❑ 其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成敏感度研究的创建，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示静态分析过程以及分析出现的问题。

❑ 关闭“诊断”对话框，保存分析结果以便输出分析结果。

（9）获取分析结果

❑ 在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中敏感度研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

❑ 选择【显示类型】下拉列表框中的“Grahp”选项。

❑ 单击【量】选项卡，选择【Grahp Ordinate（Vertical）Axis】列表框中的“Measure”选项，单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，选中【预定义】列表框中的“max_stress_vm”选项，单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

❑ 选择【图形位置】下拉列表框中的“Design Var”和“d3：D”选项，单击【确定并显示】按钮，最大应力与 d3 尺寸参数的关系曲线如图 8.132 所示，减重孔直径越大，零件的最大应力就越。

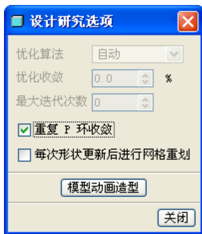


图 8.131 “设计研究选项”对话框

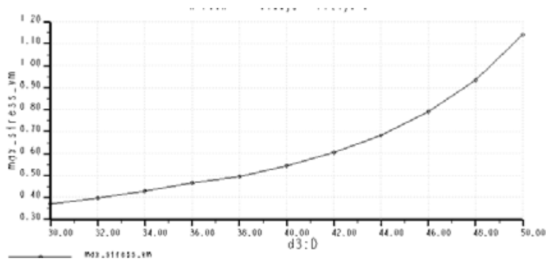


图 8.132 最大应力与 d3 尺寸参数的关系曲线

8.4.3 优化设计研究

优化设计是一种寻找最佳设计方案的技术。它是由用户指定研究目标、约束条件和

设计参数等。然后，在参数的指定范围内求出可满足研究目标和约束条件的最佳解决方案。

1．建立优化设计研究

在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建优化设计研究】命令，系统弹出“优化研究定义”对话框，如图 8.133 所示。

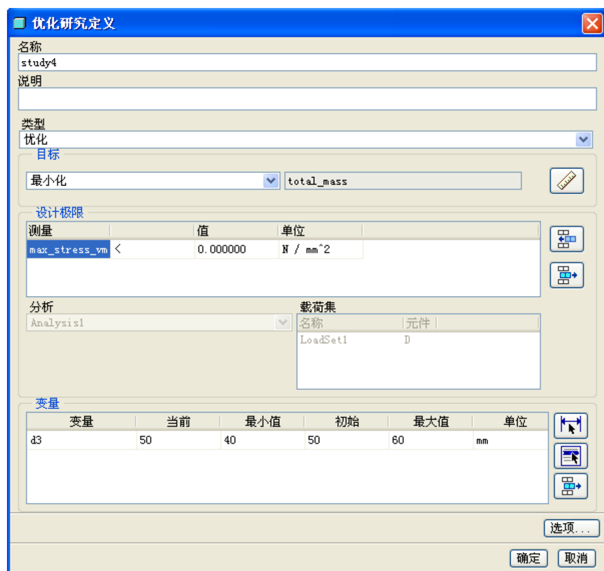


图 8.133　“优化研究定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建优化研究的名称，系统默认为 study＋数字，也可以自定义。

（2）【说明】文本框用于定义新建优化研究的简要说明，以区分其他设计研究。

（3）【类型】下拉列表框用于定义优化研究的类型：

- ❑ 优化：就是在指定的参数范围内，寻找满足研究目的和约束条件的最佳方案。选项该项，在其下的【目标】选项组中定优化的目标。
- ❑ 可行性：就是在指定的参数范围内，是否满足研究目的和约束条件。

（4）【设计极限】列表框定义优化设计研究的极限参范围。

- ❑ 单击右侧的【添加测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，在【预定义】或【用户定义的】列表框中选择测量项，单击【确定】按钮，所选测量就添加到列表框中。
- ❑ 选中列表框中的测量项，单击【移除测量】按钮，选中的测量项就移除出列表框。
- ❑ 【分析】和【载荷】选项组用于显示决定测量项所对于的分析和载荷集。

（5）【变量】列表框用于显示和设置模型尺寸的数值。具体的使用方法参见标准设计研究相关内容。

（6）单击【选项】按钮，系统弹出“设计研究选项”对话框，在该对话框中定义

设计研究优化算法、优化收敛系数、最大迭代次数以及收敛方式等。

2．获取优化结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的优化设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，该对话框的内容参见静态分析中相应内容。

3．实例

下面继续以敏感度设计研究讲解的例子为例，进一步讲解优化设计研究的创建和分析过程，具体操作步骤如下：

（1）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建优化设计研究】命令，系统弹出“优化研究定义”对话框。

（2）选择【类型】下拉列表框中的“优化”选项，【目标】下拉列表框中的“最小”选项，单击【测量】按钮，在弹出的“测量”对话框中【预定义】列表框中选择“total_mass”选项，单击【确定】按钮，返回“优化研究定义”对话框，完成优化目标的定义。

（3）单击【设计极限】列表框右侧【添加测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，在【预定义】列表框中选择“max_stress_vm”选项，单击【确定】按钮，返回“优化研究定义”对话框，该项被添加到【设计极限列表框】中，单击该项对应的值文本框，键入 1，【分析】和【载荷】显示所使用的分析和载荷集。

 **注意**

这里设置的数字 1，不一定是符合金属材料的许用应力。为例生成明显的优化结果，该值是根据图 8.132 所示的最大应力曲线确定。在实际产品分析中，要遵循产品的特性来设定。

（4）单击【变量】列表框右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，然后选中模型，模型的设计尺寸就显示出来，选中 Ø40mm 的圆孔尺寸，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“优化研究定义”对话框，选择的尺寸就添加到【变量】列表框中，设置数值 d3 的初始、终止值为 30、50，设置后的“优化研究定义”对话框如图 8.134 所示。

（5）单击右下角【选项】按钮，系统弹出设计研究选项，在【优化收敛】微调框中键入 2，勾选【重复 P 环收敛】复选框，单击【关闭】按钮，返回“优化研究定义”对话框。

（6）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成优化设计研究的创建。

（7）在“分析和设计研究”对话框中，选中刚才创建的优化设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提

示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示优化设计研究过程以及分析出现的问题。

（8）关闭“诊断”对话框，保存分析结果以便输出分析结果，返回“分析和设计研究”对话框。

（9）选择菜单栏中的【信息（I）】→【优化历史】命令，系统弹出消息输入窗口，如图 8.135 所示，单击对话框中的【完成】按钮，重复几次后，完成模型的优化。

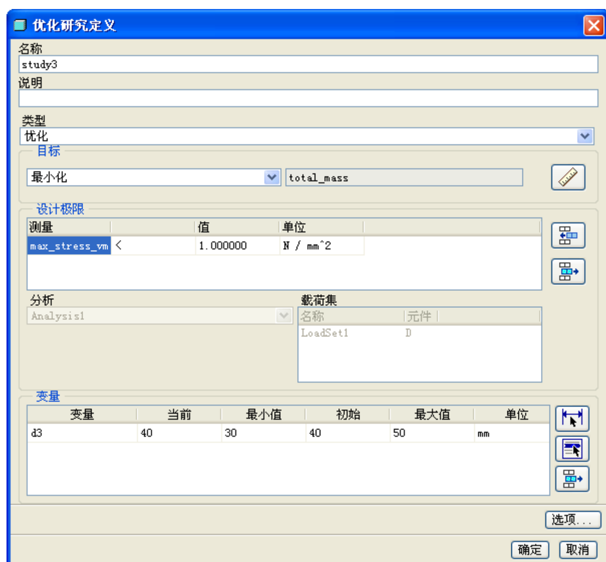


图 8.134　“优化研究定义”对话框

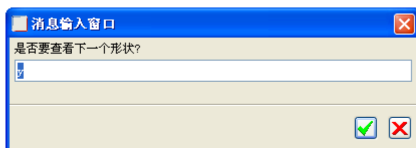


图 8.135　消息输入窗口

（10）关闭“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【分析（A）】→【测量】→【直径】命令，系统弹出“直径”对话框，在 3D 模型中选择减重孔内侧曲面，此时，“直径”对话框如图 8.136 所示，选择列表框下边的“已保存”选项，单击【接受并完成当前的分析】按钮，模型的效果如图 8.137 所示。

（11）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（12）在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中刚才创建的优化设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（13）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（14）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Stress”选项，选择其后下拉列表框中的“Mpa”选项，选择【分量】下拉列表框中的“von Mises”选项。

（15）单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框，单击【确定并显示】按钮，模型的应力条纹图如图 8.138 所示。

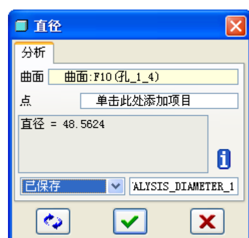


图 8.136 “直径”对话框

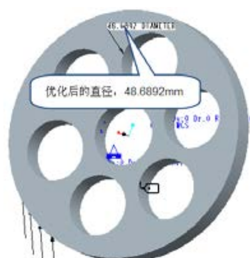


图 8.137 测量直径

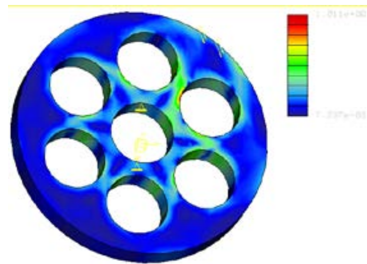


图 8.138 应力条纹图

8.5 电动机吊座的结构分析

电动机吊座是用于悬挂大型电动机，电动机总重为 6t。当电动机开始工作后，吊座还受到电动机传递的振动，以及电动机带动的机车、汽车等交通工具运行时，产生的非周期性的振动。电动机在复杂的环境下工作，试分析其变形、应力、寿命等技术参数。

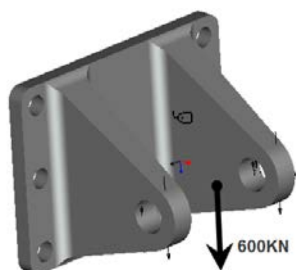


图 8.139 电动机吊座

8.5.1 创建模型

1．创建拉伸实体

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 E，取消对【使用缺省模板】复选框的勾选，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 8.140 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控

制面板中厚度设置框中键入 25，单击其后的【完成】按钮，完成底座的拉伸。

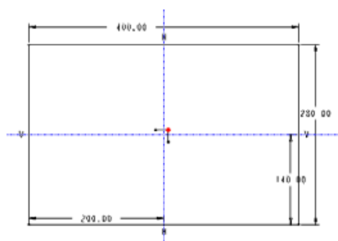


图 8.140　草图

（5）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择底座上表面为草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（6）绘制如图 8.141 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 300，单击其后的【完成】按钮，完成吊耳的拉伸。

（7）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择吊耳侧面为草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（8）绘制如图 8.142 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中厚度设置框中键入 500，选中【去除材料】按钮，单击其后的【完成】按钮，完成吊耳轮廓的拉伸。

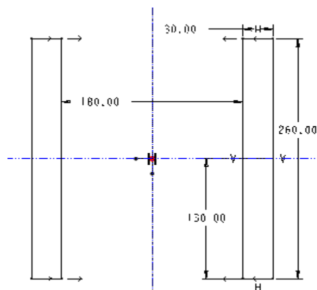


图 8.141　草图

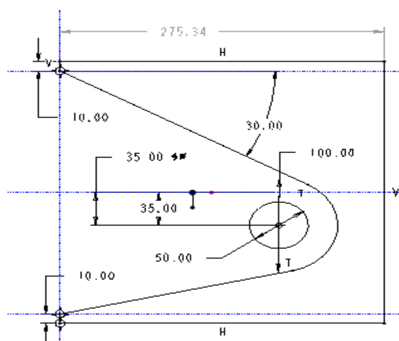


图 8.142　吊耳轮廓草图

2．创建拔模斜度

（1）右键单击模型树中“拉伸 2”，如图 8.143 所示，在弹出的下拉菜单中选择【在此插入】命令，模型就回复到如图 8.144 所示。

（2）单击【基准】工具栏上的【平面】工具按钮，系统弹出“基准平面”对话框，在 3D 平面中选择吊耳上表面，如图 8.145 所示，单击【确定】按钮，完成基准平面的创建。

（3）右键单击模型树中“拉伸 3”，　在弹出的下拉菜单中选择【在此插入】命令，

模型就回复到刚才创建的吊耳轮廓。

（4）单击“基础特征”工具栏上的【拔模】工具按钮，在控制面板中显示拔模设置选项，单击【放置】选项卡中的【拔模曲面】列表框，在 3D 工作区中选择吊耳侧面为拔模曲面，单击【拔模枢轴】按钮，在 3D 工作区中选择刚才创建的基准平面 DTM1，如图 8.146 所示。

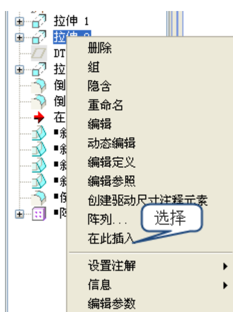


图 8.143　右键菜单

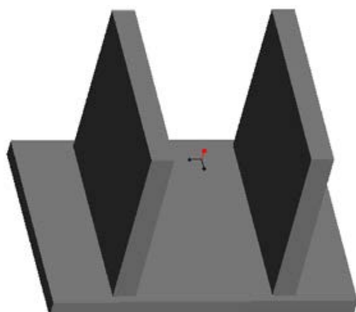


图 8.144　恢复后的模型

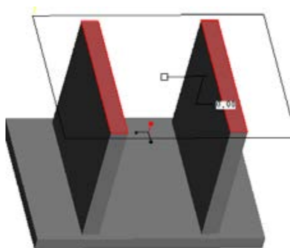


图 8.145　基准平面

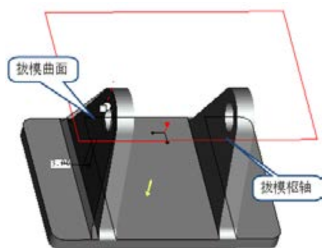


图 8.146　拔模参数

（5）在控制面板拔模斜度文本框中键入 3°，单击其后的【完成】按钮，完成拔模一侧面拔模，效果如图 8.147 所示。

（6）使用同样的设置对其他 3 个侧面进行拔模，效果如图 8.148 所示。

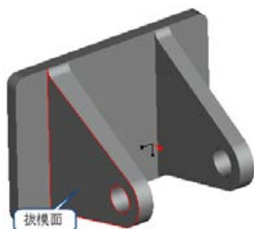


图 8.147　拔模面

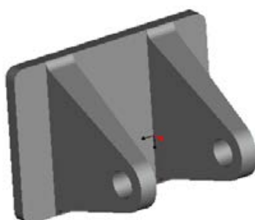


图 8.148　拔模后的模型

3．倒角修饰

单击“工程特征”工具栏上的【倒圆角】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【倒圆角（O）】命令，控制面板中显示倒圆角设置选项，在圆角半径文本框中键入 20，在 3D 模型中选择需要倒圆角的边线，单击控制面板中的【完成】按钮，完成模型的

圆角修饰。

8.5.2　建立分析模型

1．分配材料

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框。

（3）选中“STEEL.mtl”材料选项，使其高亮显示，选择菜单栏中的【编辑】→【属性】命令，系统弹出“材料定义”对话框。

（4）在【拉伸屈服应力】文本框中键入 345，选中其后下拉列表框中的“Mpa”选项，在【抗张极限应力】文本框中键入 400，选中其后下拉列表框中的“Mpa”选项。

（5）选择【失效准则】下拉列表框中的“最大剪切应力（Tresca）”选项，【疲劳】下拉列表框中的“统一材料法则（UML）”选项，选中【材料类型】下拉列表框中的“低合金钢”选项，【表面光洁度】下拉列表框中的“铸造”选项，在【失效强度衰减因子】文本框中键入 2。

（6）其他选项为系统默认值，单击【保存到库】按钮，将其设置保存在库中。

（7）双击【库中的材料】列表框中的“STEEL.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，完成模型材料的分配。

2．定义约束

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“约束”对话框。

（2）单击【参照】列表框中的空白，在 3D 模型中选择安装面，如图 8.149 所示，选中【旋转】和【平移】选项组中【固定】按钮。

（3）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成电动机吊座约束的创建，效果如图 8.150 所示。

3．创建载荷

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【力/力矩载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【力/力矩载荷（L）】命令，系统弹出“力/力矩载荷”对话框。

（2）选择【参照】下拉列表框中“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择孔内表面，

如图 8.151 所示。

（3）在【力】选项组中【Z】文本框中键入 600，选择其下拉列表框中“kN“单位选项，“力/力矩载荷”对话框的设置如图 8.152 所示。

（4）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成载荷的定义。

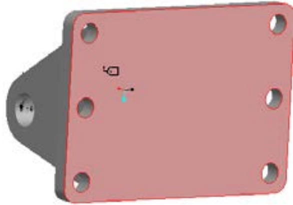


图 8.149　约束面

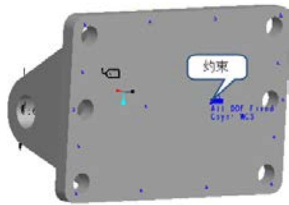


图 8.150　创建的约束

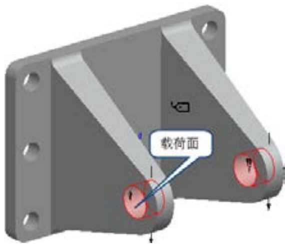


图 8.151　载荷曲面

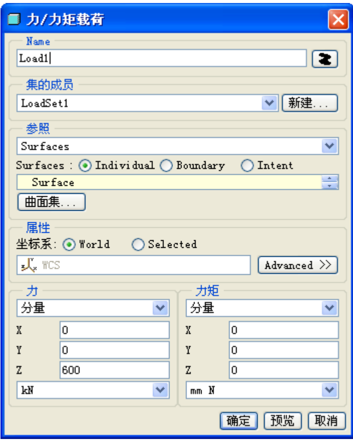


图 8.152　“力/力矩载荷”对话框

8.5.3　结构分析

1．静态分析

（1）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框，如图 8.153 所示。

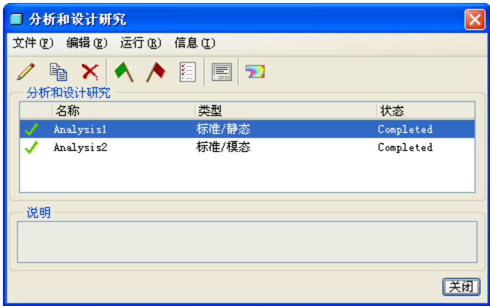


图 8.153　“分析和设计研究”对话框

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框。

（3）选中【约束】列表框中的“ConstrainSet1”约束集选项，使其高亮显示。

（4）选中【载荷】列表框中的“LoadSet1”载荷集选项，使其高亮显示。

（5）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中的【应力】、【旋转】、【反作用】复选框，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成静态分析的创建。

（6）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示静态分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Stress”选项，选择其后下拉列表框中的“Mpa”选项，选择【分量】下拉列表框中的“von Mises”选项。

（10）单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框，单击【确定并显示】按钮，在结构窗口中显示模型的应力条纹图，如图 8.154 所示。

（11）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（12）选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（13）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

（14）单击【图形位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模型阅览窗口，在窗口中选择孔边线，如图 8.155 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

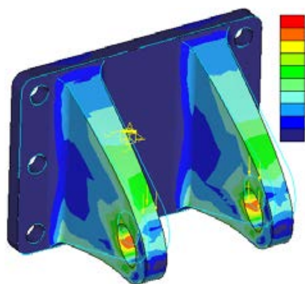


图 8.154　模型应力条纹图

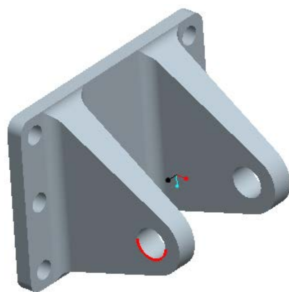


图 8.155　选取的边线

（15）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形量

曲线，如图 8.156 所示。

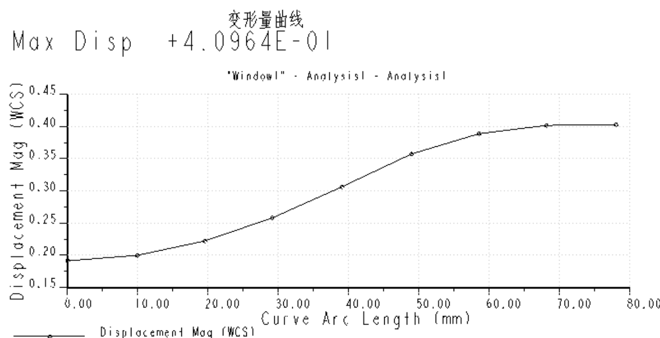


图 8.156 变形曲线

2．模态分析

（1）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建模态分析】命令，系统弹出“模态分析定义”对话框。

（2）选中【约束】列表框中的“ConstraintSet1”约束集选项，使其高亮显示。

（3）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中的【应力】、【旋转】和【反作用】复选框。

（4）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成模态分析的创建。

（5）选中列表框中刚才创建的模态分析，选择菜单栏中的【运行（R)】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y)】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示模态分析过程以及分析出现的问题。

（6）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的模态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（7）选中【研究选项】列表框中所有模式，选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（8）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项，单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框，如图 8.157 所示。

（9）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，在结构窗口中显示模型的变形条纹图，如图 8.158 所示。

3．疲劳分析

（1）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建疲劳分析】命令，系统弹出“疲劳分析定义”对话框。



图 8.157　“结果窗口定义”对话框

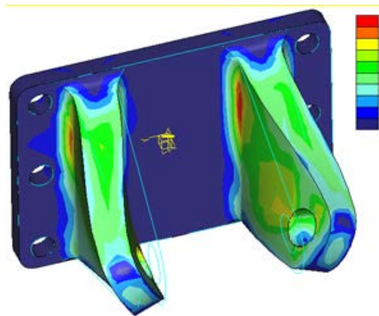


图 8.158　变形条纹图

（2）在【寿命】选项组中【所需强度】文本框中键入 106，选中【正在加载】下拉列表框中的“恒定振幅”选项，【振幅类型】下拉列表框中的“峰值-峰值”选项。

（3）在【输出】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8，勾选【计算安全系数】复选框。

（4）单击【前一分析】选项卡，选中【静态分析】下拉列表框中的“Analysis1”选项，选中【载荷集】列表框中的“LoadSet1”载荷集选项。

（5）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，返回分析和设计研究对话框，完成疲劳分析的创建。

（6）选中列表框中刚才创建的疲劳分析，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示疲劳分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Fatigue”选项，选择【分量】下拉列表框中的“日志寿命”选项。

（10）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示寿命条纹图，如图 8.159 所示。

（11）重复第 7～10 步，在第 9 步中选择【分量】下拉列表框中的“日志破坏”选项，结果窗口中显示破坏条纹图，如图 8.160 所示。

（12）重复第 7～10 步，在第 9 步中选择【分量】下拉列表框中的“安全系数”选

项，结果窗口中显示安全系数条纹图，如图 8.161 所示。

（13）重复第 7～10 步，在第 9 步中选择【分量】下拉列表框中的“寿命置信度”选项，结果窗口中显示寿命置信度条纹图，如图 8.162 所示。

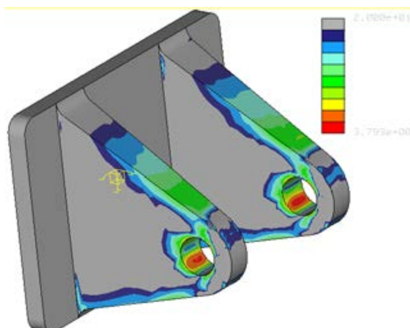


图 8.159　寿命条纹图

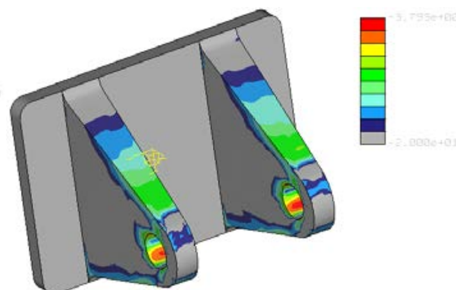


图 8.160　破坏条纹图

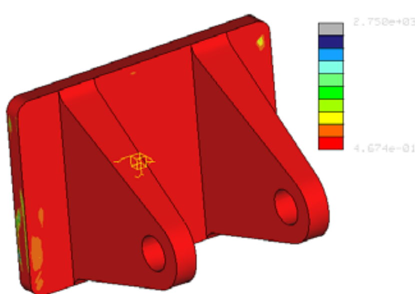


图 8.161　安全系数条纹图

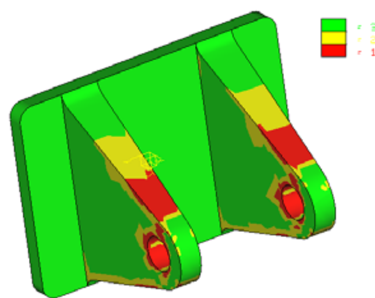


图 8.162　寿命置信度条纹图

4．标准设计研究

（1）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建标准设计研究】命令，系统弹出“标准设计研究”对话框。

（2）选中【分析】列表框中的“Analysis1、Analysis2 和 Analysis3”静态分析、模态分析和疲劳分析，使其高亮显示。

（3）单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中吊耳，使其尺寸全部显示，如图 8.163 所示，双击吊耳厚度尺寸 30，系统自动返回。

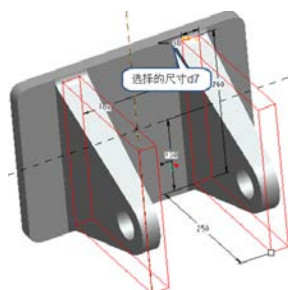


图 8.163　选择的尺寸，

（4）在【变量】列表框中 d7 对应【设置】文本框中键入 20，其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成标准设计研究的创建。

（5）选中列表框中刚才创建的标准设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示标准设计研究分析过程以及分析出现的问题。

（6）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的标准设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（7）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（8）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项，单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（9）其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形与吊耳厚度变化条纹图，如图 8.164 所示。

（10）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，系统弹出“结果窗口定义”对话框，单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Stress”选项，选择其后下拉列表框中的“Mpa”选项，选择【分量】下拉列表框中的“von Mises”选项，其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示应力与吊耳厚度变化条纹图，如图 8.165 所示。

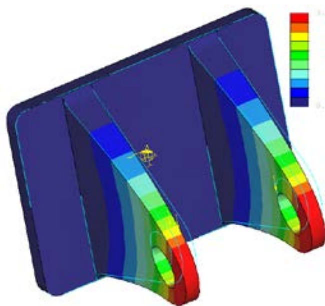


图 8.164　变形随吊耳厚度变化条纹图

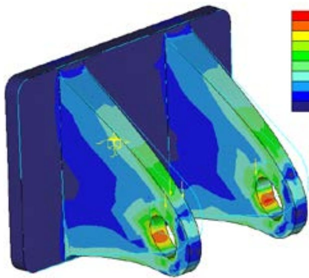


图 8.165　应力随吊耳厚度变化条纹图

（11）重复第 1～10 步，在第 4 步中在【设置】文本框中键入 40。

（12）分析的结果，如图 8.166 所示，为变形随吊耳厚度变化条纹图，如图 8.167 所示，为应力随吊耳厚度变化条纹图。

5．敏感度分析

（1）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建敏感度设计研究】命令，系统弹出“敏感度设计研究”对话框。

（2）选中【分析】列表框中的“Analysis1、Analysis2 和 Analysis3”静态分析、模态分析和疲劳分析，使其高亮显示。

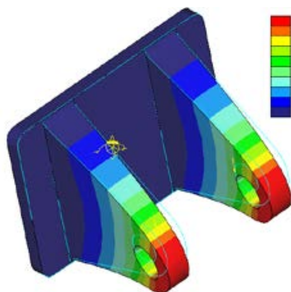


图 8.166　变形随吊耳厚度变化条纹图

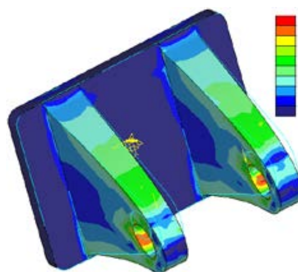


图 8.167　应力随吊耳厚度变化条纹图

（3）单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，选中 3D 模型中吊耳，使其尺寸全部显示，如图 8.163 所示，双击吊耳厚度尺寸 30，系统自动返回。

（4）单击右下角【选项】按钮，系统弹出“设计研究选项”对话框，勾选【重复 P 还收敛】和【每次形状更新后进行网格重划】复选框，单击【关闭】按钮，返回“敏感度设计研究定义”对话框。

（5）单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成敏感度设计研究的创建。

（6）选中列表框中刚才创建的敏感度设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约二十几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示敏感度设计研究分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的敏感度设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选中【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

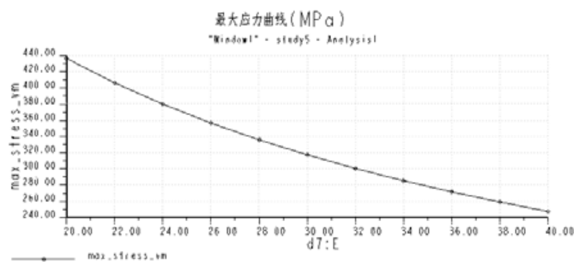


图 8.168　最大应力随吊耳厚度变化曲线

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Measure”选项，单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，选中【预定义】列表框中的“max_stress_vm”选项，

单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（10）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示最大应力随吊耳厚度变化曲线，如图 8.168 所示。

（11）重复第 6～9 步，在第 8 步中，选中【预定义】列表框中的“max_disp_mag”选项，结果如图 8.169 所示，退出结果窗口，完成敏感度分析。

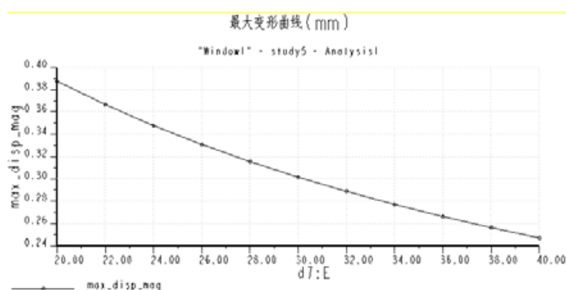


图 8.169　最大变形随吊耳厚度变化曲线

8.5.4　优化设计

1．建立优化设计研究

（1）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建优化设计研究】命令，系统弹出“优化研究定义”对话框。

（2）选择【类型】下拉列表框中的“优化”选项，单击【目标】选项组中的【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，选中【预定义】列表框中的“max_stress_vm”选项，单击【确定】按钮，返回“优化研究定义”对话框。

（3）单击【设计极限】列表框右侧按钮，系统弹出“测量”对话框，在【预定义】列表框中的“max_stress_vm”选项，单击【确定】按钮，返回“优化研究定义”对话框。

（4）在【设计极限】列表框中【值】文本框中键入 200，单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，选中 3D 模型中的吊耳，使其尺寸全部显示，如图 8.163 所示，双击吊耳厚度尺寸 30，系统自动返回。

（5）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成优化设计研究的创建。

（6）选中列表框中刚才创建的优化设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示优化设计研究分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才

创建的优化设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项，单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（10）其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形与吊耳厚度变化条纹图，如图 8.170 所示。

（11）退出结果窗口，完成优化设计分析。

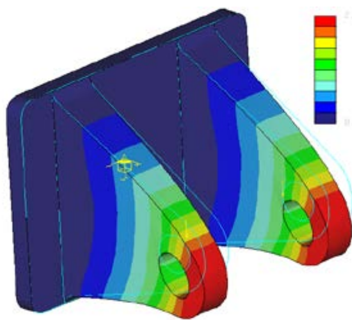


图 8.170　优化后的变形条纹图

8.5.5　升级零件

（1）在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中的优化设计研究选项，选择菜单栏中的【信息（T）】→【优化历史】命令，系统弹出消息输入窗口，如图 8.171 所示，在文本框中键入“Y”，单击【完成】按钮。

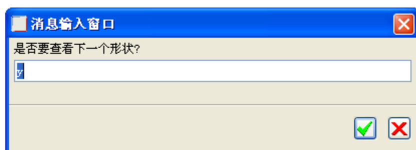


图 8.171　消息输入窗口

（2）系统又弹出消息输入窗口，继续在文本框中键入“Y”，单击【完成】按钮，重复几步后，模型就升级为优化设计后的模型，如图 8.172 所示。

（3）关闭“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【分析（A）】→【测量】→【距离】命令，系统弹出“距离”对话框，在 3D 模型中选择一吊耳的两边线上的点，测量结果如图 8.173 所示，该值是优化后的数值＋拔模斜度，所以该值为 41.4898。

（4）关闭“距离”对话框，保存模型，完成模型的优化设计。



图 8.172　优化后的模型

第 9 章　热力学分析



内容导航

热力学分析是结构分析的一个分支，结构分析中使用的许多命令在热力学分析模块中照常可以使用。本章重点介绍热力学模块中特有的命令，其他命令参见结构分析模块中相关内容

9.1　热力学分析概述

热力学分析模块是专门进行零件和组建模式下的稳态和瞬态温度场分布，其分析结果数据可以返回到结构分析模块，进行灵敏度分析和优化设计。

9.1.1　进入热力学分析

当进入零件设计模块或组装设计模块时，选择【应用程序】→【Mechanica】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，选择【模型类型】下拉列表框中的“Thermal”选项，选择【缺省界面】下拉列表框中的“Bonded”选项，如图 9.1 所示，单击【确定】按钮，进入热力学分析模块。



图 9.1　“Mechanica 模型设置”对话框

9.1.2　操作平台介绍

热力学分析模块，如图 9.2 所示，该模块包含菜单栏、工具栏、模型树、工作区 4 大部分。菜单栏和工具栏将在后续详细介绍，工作区主要是进行 3D 模型操作的区域。

模型树中显示 Simulation Features（仿真特征）、Loads/Constraints（约束/载荷）和 Idealizations（理想化）项目，使用鼠标右键单击即可进行编辑、删除等操作。

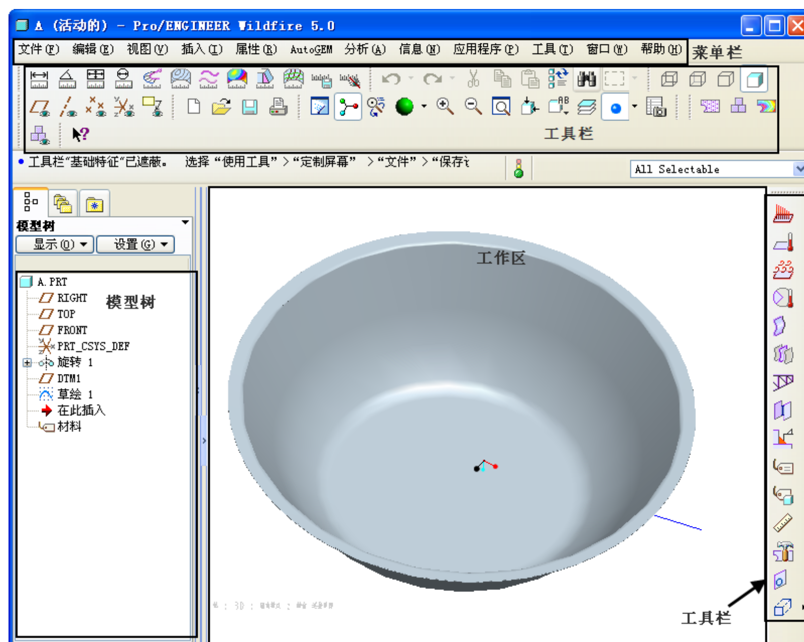


图 9.2　热力学分析模块

9.1.3　分析流程

对于热力学分析，都是按照一定的分析流程进行分析。基本分析流程如表 9.1 所示。

表 9.1　热力学分析流程

	分析步骤	具体内容
1	建立模型	1．简化模型 2．分配材料 3．模型的理想化 4．施加热力载荷、约束
2	分析模型	1．建立分析 2．运行分析 3．获取结果
3	定义设计变量	1．定义参数 2．指定变化范围 3．预览形状变化
4	优化设计	1．建立敏感度研究 2．运行并获取结果 3．建立优化研究 4．运行并获取结果 5．升级模型

9.2　创建热力载荷

热力学载荷相当于结构分析中的载荷（Load），用以对模型施加热力。可以对模型的几何元素点、线、面和原件进行施加热力载荷。

9.2.1　创建载荷集

【载荷集】命令，是对模型所添加的热力载荷进行分类管理的命令，使用该命令创建的载荷集将被添加到模型结构树中，如图 9.3 所示。

选择菜单栏中的【属性（R）】→【载荷集（E）】命令，系统弹出“载荷集（Load Sets）属性”对话框，如图 9.4 所示。

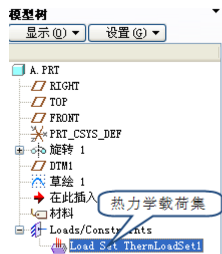


图 9.3　模型树图



图 9.4　“载荷集（Load Sets）属性”对话框

（1）【列表框】用于显示当前模型存在的载荷集。

（2）【新建】按钮用于新建一个新的载荷集到当前模型中。单击该按钮，系统弹出“载荷集定义”对话框，如图 9.5 所示。

- 【Name（名称）】文本框用于定义新建载荷集的名称，系统默认为 ThermLoadSet＋数字。
- 【说明】文本框用于定义当前新建载荷集的简要说明，可以使用简单的语句介绍新建载荷集的特征，如：高温热力学载荷。

（3）【副本】按钮用于复制当前在列表框中选中且高亮显示的载荷集。在列表框中选中一个载荷集，单击该按钮，一个复制的新的载荷集就创建完成。

（4）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的载荷集进行编辑，单击该按钮，系统弹出“载荷集定义”对话框，如图 9.5 所示，在这里可以重新定义选定的载荷集的名称和说明。

（5）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的载荷集进行移除。在列表框中选中欲移除的载荷集，单击该按钮，被选中的载荷集就移除出当前模型中。

（6）【说明】文本框用于显示当前选中的载荷集的说明信息。



图 9.5　“载荷集定义”对话框

9.2.2　创建热力载荷

【热载荷】工具，是对模型添加热载荷的工具。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【热载荷（H)】命令，系统弹出“热载荷”对话框，如图 9.6 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建热载荷的名称，系统默认为 HeatLoad＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑”对话框，在该对话框中设置热载荷在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的热载荷是属于哪个载荷集。可以在下拉列表框中选中所属的载荷集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的载荷集。

（3）【参照】选项组用于定义热载荷加载在模型中的位置，如图 9.7 所示。该选项组的具体使用方法如下：

❑ 在下拉列表框中选择载荷加载对象：Components（部件）、Volumes（体积)、Surfaces（曲面）、Edges/Curves（边线）、Points（点）；

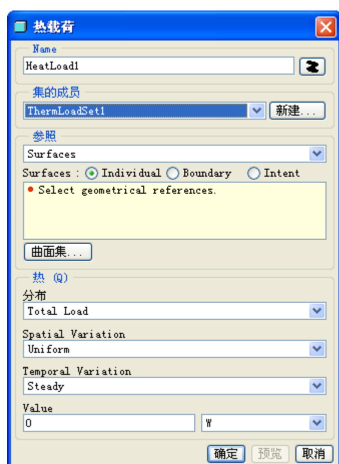


图 9.6　“热载荷”对话框

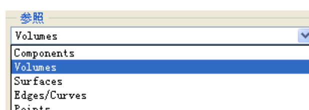


图 9.7　参照选项

❑ 根据选择 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的不同，其下方的选项也不同，在相应的选项下选择所选择对象的属性。各单选按钮表示的意思如下所述：【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、

Points（点）；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；【Single】单选按钮选择表示单个点；【Feature】单选按钮表示选择点特征；【Pattern】单选按钮表示选择点模型；

- ❑ 根据前两步选择的组合选项在 3D 模型中选择相应的几何元素，该几何元素就添加到列表框中。如果欲选择曲面，单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，在该对话框中可以完成曲面集的定义。

（4）【热（Q）】选项组用于定义模型中所选择的对象的热载荷以及热载荷的分布。

- ❑ 【分布】下拉列表框用于定义热载荷的分布方式：Total Load（总载荷）、Load per Unit Area（单位面积载荷）两种分布方式。
- ❑ 【Spatial Variation（空间分布）】下拉列表框用于定义热载荷的空间分布方式：Uniform（一致不变）、Function Of Coordinates（函数）两种分布方式。
- ❑ 【Temporal Variation（短暂分布）】下拉列表框用于定义热载荷短暂分布方式：Steady（固定）、Function Of Coordinates（函数）两种分布方式。
- ❑ 【Value（值）】文本框用于定义加载在对象上热载荷的数值。其后的下拉列表框定义加载热载荷的单位。

下面以如图 9.8 所示的平底锅为例，讲解热载荷的创建过程。

要求：在锅底加热器为 20W。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 A，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【旋转】工具按钮，在控制面板中显示旋转设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 9.9 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中旋转角度设置框中键入 360，单击其后的【完成】按钮，完成模型的设计。

（5）选择【应用程序】→【Mechanica】工具命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析模块。

（6）选择菜单栏中的【属性（R）】→【载荷集（E）】命令，系统弹出“载荷集（Load Sets）属性”对话框，单击【新建】按钮，保持系统默认值，单击【确定】按钮，ThermLoadSet1 载荷集就添加到列表框中，然后单击【关闭】按钮，完成载荷集的创建。

（7）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【热载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的

【插入（I）】→【热载荷（H）】命令，系统弹出“热载荷定义”对话框。

（8）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择平底锅的锅底平面。

（9）选择【分布】下拉列表框中的“Total Load”选项，在【Value】文本框中键入 20，选择其后下拉列表框中的“W”选项。

（10）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成热载荷的定义，效果如图 9.10 所示。

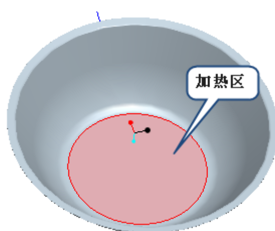


图 9.8　平底锅

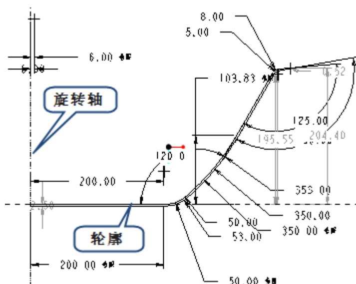


图 9.9　草图

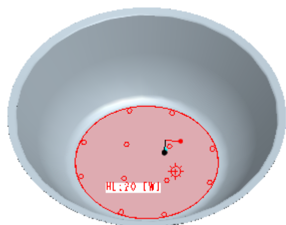


图 9.10　加载的热载荷

9.3　创建边界条件

边界条件相当于结构分析中的约束，用以模拟真实的热力环境。边界条件分为 3 种：规定温度、对流条件、热对称性。规定温度和对流条件可以对点、线、面进行设置边界条件。

9.3.1　创建边界条件集

【边界条件集】命令，是对模型所添加的边界条件进行分类管理的命令，使用该命令创建的边界条件集将被添加到模型结构树中，如图 9.11 所示。

选择菜单栏中的【属性（R）】→【边界条件集（C）】命令，系统弹出“边界条件集集（BC Sets）属性”对话框，如图 9.12 所示。

（1）【列表框】用于显示当前模型存在的边界条件集。

（2）【新建】按钮用于新建一个新的边界条件集到当前模型中。单击该按钮，系统弹出“边界条件集定义”对话框，如图 9.13 所示。

❑　【Name（名称）】文本框用于定义新建边界条件集的名称，系统默认为 BndryCondSet＋数字。

❑　【说明】文本框用于定义当前新建边界条件集的简要说明，可以使用简单的语句

介绍新建边界条件集的特征，如：加热高度。

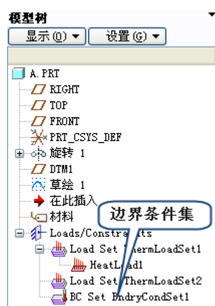


图 9.11　模型树



图 9.12　“边界条件集属性”对话框

（3）【副本】按钮用于复制当前在列表框中选中且高亮显示的边界条件集。在列表框中选中一个边界条件集，单击该按钮，一个复制的新的边界条件集就创建完成。

（4）【编辑】按钮用于对当前选中且高亮显示的边界条件集进行编辑，单击该按钮，系统弹出“边界条件集定义”对话框，如图 9.13 所示，在这里可以重新定义选定的边界条件集的名称和说明。

（5）【删除】按钮用于对选中的高亮显示的边界条件集进行移除。在列表框中选中欲移除的边界条件集，单击该按钮，被选中的边界条件集就移除出当前模型中。

（6）【说明】文本框用于显示当前选中的边界条件集的说明信息。



图 9.13　“边界条件集定义”对话框

9.3.2　创建规定温度

【规定温度】工具，是定义外界环境恒定不变的温度。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【规定温度（P）】命令，系统弹出“规定温度”对话框，如图 9.14 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建规定温度边界条件的名称，系统默认为 BndryCond＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑”对话框，在该对话框中设置规定温度边界条件在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的规定温度边界条件是属于哪个边界条件集。可以在下拉列表框中选中所属的边界条件集，也可以单击其后的【新建】按钮创

建新的边界条件集。

（3）【参照】选项组用于定义新建规定温度边界条件在模型中的位置。

❑ 在下拉列表框中选择载荷加载对象： Surfaces（曲面）、Edges/Curves（边线）、Points（点）。

❑ 根据选择 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的不同，其下方的选项也不同，在相应的选项下选择对象的属性。各单选按钮表示的意思如下所述：【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；【Single】单选按钮选择表示单个点；【Feature】单选按钮表示选择点特征；【Pattern】单选按钮表示选择点模型。

❑ 根据前两步选择的组合选项在 3D 模型中选择相应的几何元素，该几何元素就添加到列表框中。如果欲选择曲面，单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，在该对话框中可以完成曲面集的定义。

（4）【温度】选项组用于定义新建规定温度边界条件的温度数值和分布方式。

❑ 单击【Advanced（高级）】按钮，展开空间温度分布方式设置选项，如图 9.15 所示。在【Spatial Variation（空间分布）】下拉列表框用于定义热载荷的空间分布方式：Uniform（一致不变）、Function Of Coordinates（函数）两种分布方式。

❑ 【Value（值）】文本框用于定义新建规定温度边界条件的温度数值。其后的下拉列表框定义温度的单位。



图 9.14　“规定温度”对话框

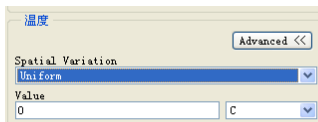


图 9.15　温度选项组

下面以平底锅为例，讲解规定温度边界条件的创建过程：

（1）打开模型 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（2）选择菜单栏中的【属性（R）】→【边界条件集（C）】命令，系统弹出“边界条件集（BC Sets）属性”对话框。

（3）单击【新建】按钮，系统弹出“边界条件集定义”对话框，保持系统默认值，

单击【确定】按钮，返回“边界条件集集属性”对话框，单击【关闭】按钮，完成边界条件集的创建。

（4）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【规定温度】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【规定温度（P）】命令，系统弹出“规定温度”对话框。

（5）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，按 Ctrl 键，在 3D 模型中选择如图 9.16 所示曲面。

（6）在【Value】文本框中键入 100，选择其后下拉列表框中的“C”选项。

（7）其他选项为系统默认值，单击【预览】按钮，效果如图 9.17 所示，单击【确定】按钮，完成规定温度边界条件的创建。

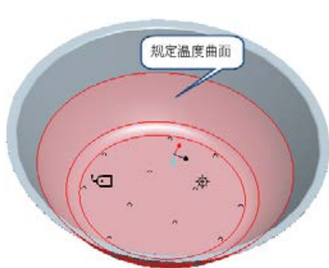


图 9.16　规定温度曲面

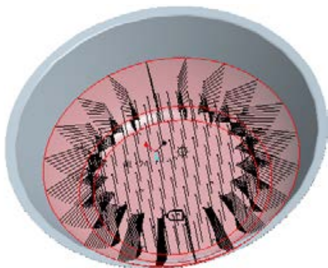


图 9.17　预览创建的规定温度边界条件

9.3.3　创建对流条件

【对流条件】工具，是定义模型与外界的热对流交换环境。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对流条件（C）】命令，系统弹出“对流条件”对话框，如图 9.18 所示。



图 9.18　“对流条件”对话框

（1）【Name（名称）】文本框用于定义新建对流条件的名称，系统默认为 BndryCond

＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑”对话框，在该对话框中设置对流条件在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的对流条件是属于哪个边界条件集。可以在下拉列表框中选中所属的边界条件集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的边界条件集。

（3）【参照】选项组用于定义热载荷加载在模型中的位置。该选项组的具体使用方法如下：

- 在下拉列表框中选择载荷加载对象： Surfaces（曲面）、Edges/Curves（边线）、Points（点）。
- 根据选择 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的不同，其下方的选项也不同，在相应的选项下选择所选择对象的属性。各单选按钮表示的意思如下所述：【Individual】单选按钮表示选择单个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）；【Intent】单选按钮表示选择多个 Surfaces（表面）、Edges/curves (边/曲线)、Points（点）的集合；【Boundary】单选按钮表示选择模型边界表面，即整个模型表面；【Single】单选按钮选择表示单个点；【Feature】单选按钮表示选择点特征；【Pattern】单选按钮表示选择点模型。
- 根据前两步选择的组合选项在 3D 模型中选择相应的几何元素，该几何元素就添加到列表框中。如果欲选择曲面，单击【曲面集】按钮，系统弹出“曲面集”对话框，在该对话框中可以完成曲面集的定义。

（4）【对流系数（h）】选项组用于定义模型中所选择的对象的对流系数以及对流系数的分布方式。

- 【Spatial Variation（空间分布）】下拉列表框用于定义对流系数的空间分布方式：Uniform（一致不变）、Function Of Coordinates（函数）两种分布方式。
- 【Value（值）】文本框用于定义对流系数的数值。其后的下拉列表框定义对流系数的单位。



注意

对流系数并无定值，随工件几何形状、工件对流换热表面情况、工件大小等各因素而异。常温下，空气的自然对流系数取 5 ~ 10 W/m^2℃。

（5）【体表温度（Tb）】选项组用于定义模型表面的温度以及分析方式。

- 【Spatial Variation（空间分布）】下拉列表框用于定义体表温度的空间分布方式：Uniform（一致不变）、Function Of Coordinates（函数）两种分布方式。
- 【Value（值）】文本框用于定义体表温度的数值。其后的下拉列表框定义体表温度的单位。

（6）【Temporal Variatin（短暂分布）】选项组用于定义对流条件短暂分布方式：Steady（固定）、Function Of Coordinates（函数）两种分布方式。

下面以平底锅为例，讲解对流条件的创建过程。

（1）打开模型 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（2）选择菜单栏中的【属性（R）】→【边界条件集（C）】命令，系统弹出“边界条件集集（BC Sets）属性”对话框。

（3）单击【新建】按钮，系统弹出“边界条件集定义”对话框，保持系统默认值，单击【确定】按钮，返回“边界条件集属性”对话框，单击【关闭】按钮，完成边界条件集的创建。

（4）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对流条件】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对流条件（C）】命令，系统弹出“对流条件”对话框。

（5）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择如图 9.19 所示曲面。

（6）选择【对流系数（h）】选项组中【Spatial Variation】下拉列表框中的“Uniform”选项，在【Value】文本框中键入 50，选择其后下拉列表框中的“mW/(mm2℃)”选项。

（7）选择【体表温度（Tb）】选项组中【Spatial Variation】下拉列表框中的“Uniform”选项，在【Value】文本框中键入 90，选择其后下拉列表框中的“℃”选项。

（8）其他选项为系统默认值，单击【预览 h】或【预览 Tb】按钮，效果如图 9.20 所示，单击【确定】按钮，完成规定温度边界条件的创建。

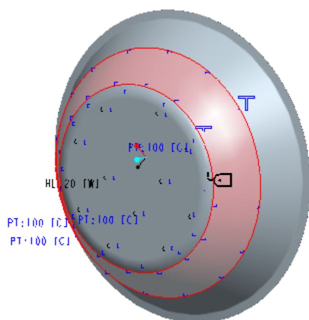


图 9.19　对流曲面

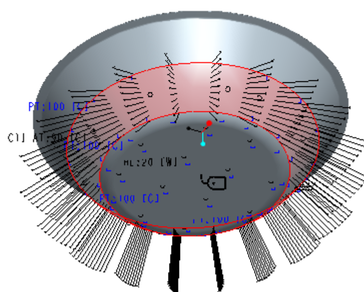


图 9.20　对流条件预览

9.3.4　创建热对称性

【对称约束】工具，是仅对旋转体模型的一部分进行分析，得到整体的分析效果。单击该工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对称约束（Y）】命令，系统弹出“对称约束”对话框，如图 9.21 所示。

（1）【Name（名称）】文本框用于定义对称约束边界条件的名称，系统默认为 BndryCond＋数字。单击其后的【颜色设置】按钮，系统弹出“颜色编辑”对话框，在该对话框中设置对称约束边界条件在模型中显示的颜色。

（2）【集的成员】选项组用于定义当前创建的对称约束边界条件是属于哪个边界条件集。可以在下拉列表框中选中所属的边界条件集，也可以单击其后的【新建】按钮创建新的边界条件集。

（3）【参照】选项组用于定义模型的对称点、线、面。

下面以平底锅为例，讲解对称约束的创建过程：

（1）打开模型 A.prt，单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Front 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（2）绘制如图 9.22 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中选中两边对称拉伸按钮，在其后的文本框中键入 500，选中【去除材料】按钮，单击其后的【完成】按钮，完成模型的简化，效果如图 9.23 所示。

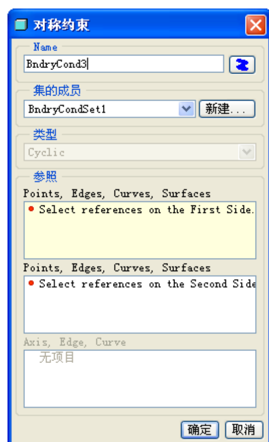


图 9.21　“对称约束”对话框

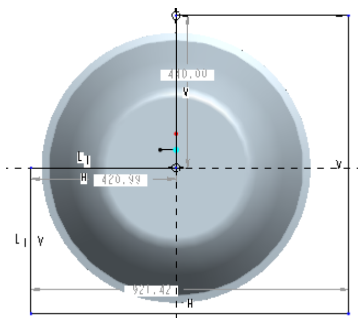


图 9.22　草图

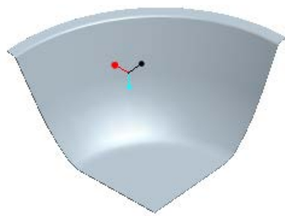


图 9.23　简化后的模型

（3）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（4）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对称约束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对称约束（Y）】命令，系统弹出“对称约束”对话框。

（5）单击【参照】列表框，在 3D 模型中选中对称面，如图 9.24 所示，单击另一列表框，在 3D 模型中选择另一对称面。此时，对话框如图 9.25 所示。

（6）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成平底锅的对称约束的创建。

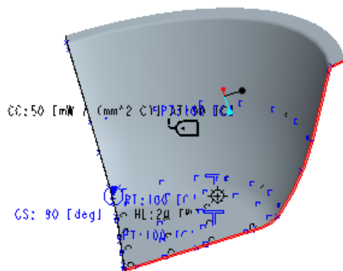


图 9.24　对称面

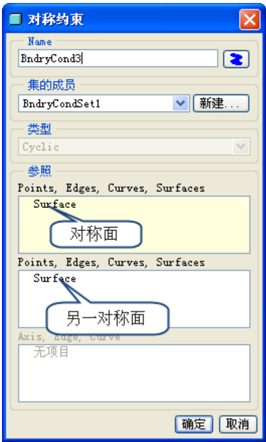


图 9.25　“对称约束”对话框

9.4　建立分析和研究

在完成对模型材料分配、理想化、边界条件、热力载荷等一系列设置后，就可以针对性的建立所需的分析。本小节重点介绍稳态热分析、瞬态热分析两大热力学分析模块，关于标准设计研究、敏感度设计研究、优化设计研究的使用方法参见第 8 章中的相应内容。

9.4.1　创建稳态热分析

稳态热分析用于分析稳定的热载荷对系统或部件的影响。通常在进行瞬态热分析以前，需要进行稳态热分析用于确定初始温度分布。稳态热分析还可以通过有限元计算确定由于稳定的热载荷引起的温度、热梯度、热流率、热流密度等参数。

1. 新建稳态热分析

选择菜单栏中的【分析（A)】→【Mechanica 分析/研究（E)】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框，如图 9.26 所示，选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建稳态热分析】命令，系统弹出“稳态热分析定义”对话框，如图 9.27 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建稳态热分析的名称，系统默认为 Analysis＋数字。

（2）【说明】文本框用于定义新建稳态热分析的简要说明。

（3）【约束】选项组用于定义进行稳态热分析所使用的约束集。如果列表框中两个以上约束集，【组合约束集】复选框可用，就可以使用列表框中的多个约束集叠加作用与模型。

（4）【载荷】选项组用于定义进行稳态热分析所施加的载荷集。选中列表框中的两

个以上载荷集，【累计载荷集】复选框可用。

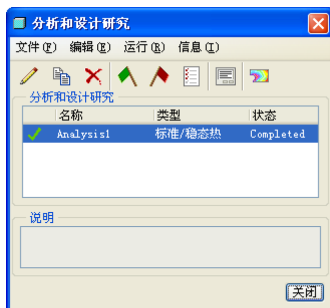


图 9.26　“分析和设计研究”对话框

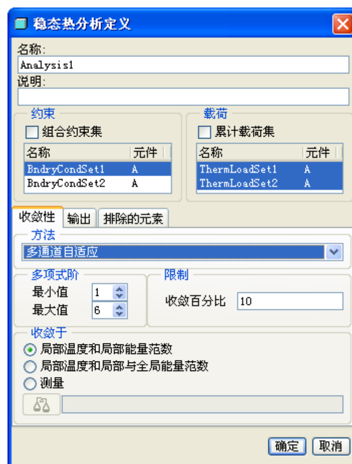


图 9.27　“稳态热分析定义”对话框

（5）【收敛性】选项卡用于定义分析的计算方法：多通道自适应、单通道自适应、快速检查 3 种。根据在列表框中选择的选项不同，在其下的选项中设置不同的内容。

（6）【输出】选项卡，如图 9.28 所示，该选项卡用于定义计算的内容和绘图网格数。

（7）【排除的元素】选项卡，如图 9.29，该选项卡用于定义在计算过程中可以排除的忽略的元素。勾选【排除元素】复选框，表示可以进行排除元素，在其他选项进行设置需要排除元素的选项。

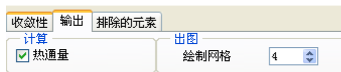


图 9.28　【输出】选项卡

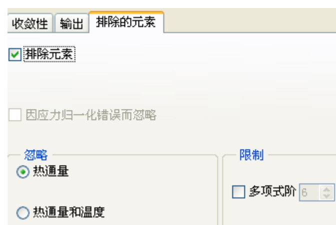


图 9.29　【排除的元素】选项卡

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的稳态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框，如图 9.30 所示。

（1）【名称】文本框用于定义新建分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。

（2）【标题】文本框用于定义新建分析结果的标题，如热通量曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建分析结果窗口的设计研究，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录。

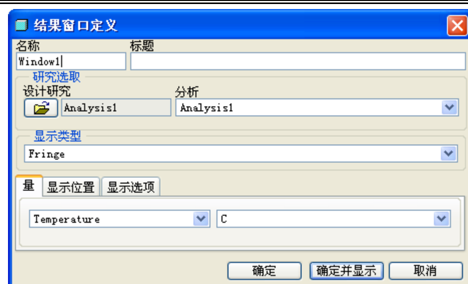


图 9.30　“结果窗口定义”对话框

（4）【显示类型】下拉列表框用于定义生成分析结果的显示类型：Fringe（条纹）、Vectors（线框）、Graph（曲线）3 种类型。

（5）【量】选项卡用于定义分析结果显示量：Temperature（温度）、Temp Gradient（热梯度）、Flux（热流率）、P－Level。

（6）【显示位置】选项卡，如图 9.31 所示，该选项卡用于定义结果窗口中显示的零件几何元素所对于的稳态热分析结果，如 Curves、All、Surfaces、Volumes、Components/Layers 等对象的应力、应变、变形等属性。

（7）【显示选项】选项卡，如图 9.32 所示，该选项卡用于定义结果窗口中显示内容的选项。

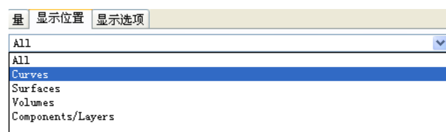


图 9.31　【显示位置】选项卡

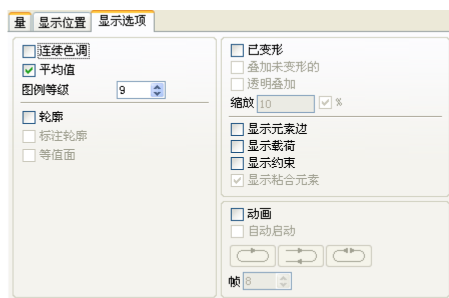


图 9.32　【显示选项】选项卡

3．实例

下面继续以前面讲解的平底锅为例，讲解稳态热分析的创建和分析过程。

（1）打开模型 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“STEEL.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，完成模型材料的分配。

（3）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（4）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建稳态热分析】命令，系统弹出“稳态热分析定义”对话框。

（5）选中【约束】列表框中的“BndryCondSet1”约束集。

（6）选中【载荷】列表框中的“ThermLoadSet1”载荷集。

（7）单击【收敛性】选项卡，选中【方法】下拉列表框中的“单通道自适应”选项。

（8）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中【热通量】复选框，在【出图】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8。

（9）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成稳态热分析的创建，返回“分析和设计研究”对话框。

（10）选中列表框中的稳态热分析，单击工具栏上的【开始】按钮，或选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示稳态热分析过程以及分析出现的问题。

（11）在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中稳态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框；

（12）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（13）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Temperature”选项，选择其后下拉列表框中的“C”温度单位选项。

（14）单击【显示选项】选项卡，勾选【连续色调】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（15）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 9.33 所示。

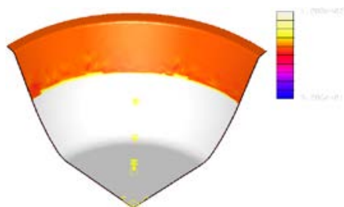


图 9.33　温度条纹图

9.4.2　创建瞬态热分析

瞬态热分析用于计算一个系统的随时间变化的温度场及其他热参数。在工程上一般用瞬态热分析计算温度场，并将之作为热载荷进行应力分析。瞬态热分析的基本步骤与

稳态热分析类似。主要的区别是瞬态热分析中的载荷是随时间变化的。

1．新建瞬态热分析

选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建瞬态热分析】命令，系统弹出“瞬态热分析定义”对话框，如图 9.34 所示，该对话框的内容与稳态热分析相对应对话框的内容增加【温度】选项卡并在【输出】选项卡中增加了选项。

（1）【温度】选项卡用于定义模型的初始温度。

❑ 在【初始温度】选项组中【分布】下拉列表框中选择初始温度的分布方式：均匀、Mect 两种。选择“均匀”选项，只需在温度文本框中键入初始温度数值即可。选择“Mect”选项，如图 9.35 所示，勾选【使用来自目前一设计研究的温度】复选框，在【设计研究】下拉列表框中选择模型中创建的设计研究。在【热分析】和【载荷集】下拉列表框中选择热分析和载荷集来定义初始温度。

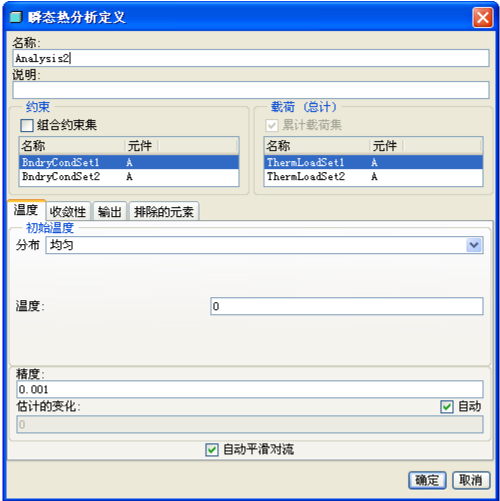


图 9.34 “瞬态热分析定义”对话框

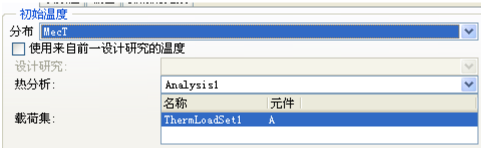


图 9.35 初始温度选项组

❑ 【精度】文本框用于设计瞬态分析温度变化的精度。勾选【估计的变化】选项组中【自动】复选框，表示系统文本的变化为系统默认值。取消该复选框，在文本框中设计温度的变价值。

（2）【输出】选项卡，如图 9.36 所示，该选项用于定义输出结果的内容。

❑ 【计算】选项组用于定义瞬态热分析输出的计算项。

❑ 【出图】选项组用于定义输出结果的网格数。

❑ 【输出间隔】选项组用于定义输出结果所对于的时间变化范围。

2．获取分析结果

在“分析和设计研究”对话框中，选中【分析和设计研究】列表框中的瞬态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】按钮，系统弹出“结果窗口定义”

对话框，如图 9.37 所示。:



图 9.36　【输出】选项卡

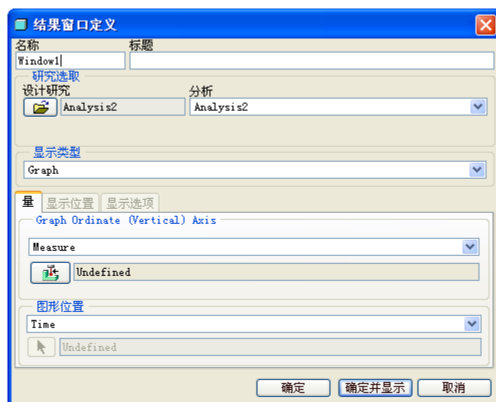


图 9.37　“结果窗口定义”对话框

（1）【名称】文本框用于定义新建分析结果的名称，系统默认为 Window＋数字，也可以自定义。

（2）【标题】文本框用于定义新建分析结果的标题，如温度时间曲线。

（3）【研究选取】选项组用于定义新建分析结果窗口的设计研究，单击【打开】按钮，选择保存在磁盘中的分析目录。

（4）【显示类型】下拉列表框用于定义生成的分析结果以 Graph（曲线）类型显示。

（5）【量】选项卡用于定义分析结果所显示的量。单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，在该对话框中选择已定义的测量。选择【图形位置】下拉列表框中的“Time”，表示生成的曲线是温度随时间变化曲线。

3．实例

下面平底锅为例，讲解瞬态热分析创建和分析过程。

（1）打开模型 A.prt，选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（2）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（3）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建瞬态热分析】命令，系统弹出“瞬态热分析定义”对话框。

（4）选中【约束】列表框中的“BndryCondSet1”约束集。

（5）选中【载荷】列表框中的“ThermLoadSet1”载荷集。

（6）单击【温度】选项卡，选择【初始温度】选项组中【分布】下拉列表框中的“MecT”选项，选择【热分析】下拉列表框中的“Analysis1”选项，选中【载荷集】列表框中“ThermLoadSet1”载荷集选项，使其高亮显示，如图 9.39 所示。

（7）单击【收敛性】选项卡，选中【方法】下拉列表框中的“单通道自适应”选项。

（8）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中【热通量】复选框，在【出图】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8，选择【输出间隔】下拉列表框中的“范围内的自动间隔”选项，在【时间范围】选项组中【最小值】文本框中键入 20，勾选【最大值】选项组中【自动】复选框，如图 9.39 所示。

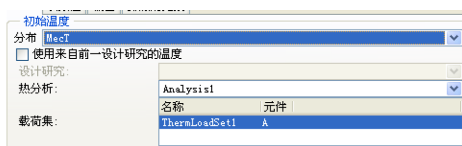


图 9.38 【温度】选项卡



图 9.39 【输出】选项卡

（9）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成瞬态热分析的创建，返回“分析和设计研究”对话框。

（10）选中列表框中的瞬态热分析，单击工具栏上的【开始】按钮，或选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示稳态热分析过程以及分析出现的问题。

（11）关闭诊断窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中瞬态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（12）选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（13）单击【量】选项卡，选择【Graph Ordinate（Vertical）Axis】下拉列表框中的“Measure”选项，单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，如图 9.40 所示，选中【预定义】列表框中的“min_dyn_temperature”选项，使其高亮显示，单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框，选择【图形位置】下拉列表框中的“Time”选项。

（14）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示最低温度与时间关系曲线，如图 9.41 所示。



图 9.40　“测量”对话框

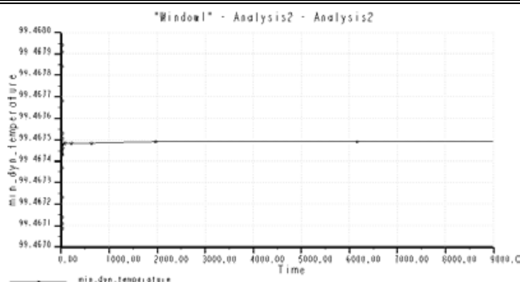


图 9.41　最低温度与时间关系曲线

9.5　CPU 散热片分析

CPU 是计算机的核心部分。随着电子技术的发展，CPU 的运算速度提高。CPU 散热性能直接影响到 CPU 的计算速度和使用寿命。下面对 CPU 上的散热片进行散热性能评估，CPU 的功率为 42W，机箱内温度为 30℃，散热片采用铝制造。

9.5.1 建立简化模型

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【零件】单选按钮，在【名称】文本框中键入 B，取消【使用缺省模板】复选框，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（2）在“新文件选项”对话框中，选中列表框中的“mmns_part_solid”选项，单击【确定】按钮，进入零件设计平台。

（3）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择 Right 草绘面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（4）绘制如图 9.42 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中拉伸深度设置框中键入 25，单击其后的【完成】按钮，完成模型底座的设计；

（5）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择基座上表面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（6）绘制如图 9.43 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中拉伸深度设置框中键入 25，单击其后的【完成】按钮，完成模型散热片底座的设计。

（7）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸

设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择基座上侧面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（8）绘制如图 9.44 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中拉伸深度设置框中键入 400，选中控制面板中【去除材料】按钮，单击其后的【完成】按钮，完成底座安装槽的设计。

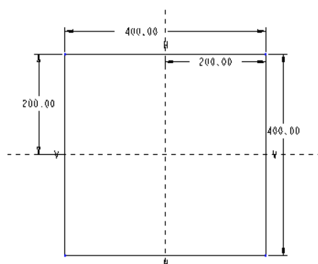


图 9.42　基座草图

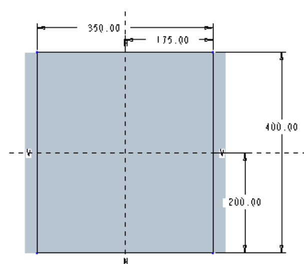


图 9.43　散热片基座草图

（9）单击“基础特征”工具栏上的【拉伸】工具按钮，在控制面板中显示拉伸设置选项，单击【放置】选项卡中的【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，在 3D 工作区中，选择散热片基座上表面，单击【草绘】按钮，进入草图绘制平台。

（10）绘制如图 9.45 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，在控制面板中拉伸深度设置框中键入 400，选中控制面板中【去除材料】按钮，单击其后的【完成】按钮，完成散热孔的设计。

（11）在 3D 模型中选中刚才创建的散热孔，单击“编辑特征”工具栏上的【镜像】工具按钮，控制面板中显示设置镜像选项。

（12）选中下拉列表框中的“方向”选项，在 3D 模型中选择一条方向边线，如图 9.46 所示。

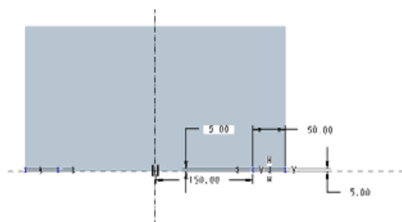


图 9.44　草图

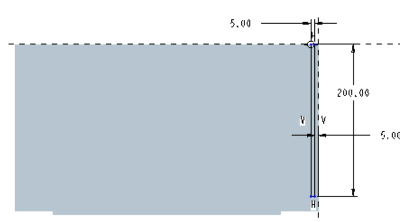


图 9.45　散热孔草图

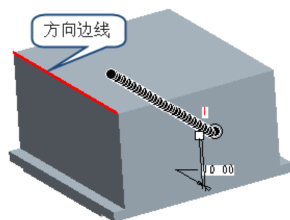


图 9.46　方向边线

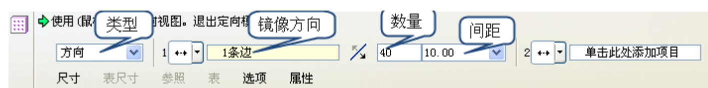


图 9.47　镜像控制面板

（13）在镜像数量设置文本框中键入 40，在其后的间距文本框中键入 10，效果如图 9.47 所示。

（14）单击控制面板中的【完成】按钮，完成散热孔的设计，效果如图 9.48 所示。

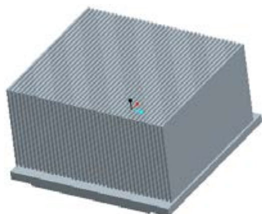


图 9.48　散热片

9.5.2　分配材质并创建曲面区域

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框。

（3）单击【Material】下拉列表框右侧【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框，双击【库中的材料】列表框中的“al2014.mtl”选项，使其添加到右侧模型中的材料列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框。

（4）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成模型材料的分配。

（5）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【曲面区域】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【曲面区域（U）】命令，控制面板中显示曲面区域定义选项。

（6）单击【参照】选项卡，然后单击【草绘】文本框右侧【定义】按钮，系统弹出“草图”对话框，选择基座地面，单击【草绘】按钮，进入草绘平台。

（7）绘制如图 9.49 所示草图，单击“草绘器”工具栏上的【完成】按钮，单击控制面板中【曲面】文本框，在 3D 模型中选择基座底面，单击其后的【完成】按钮，完成曲面区域的创建。

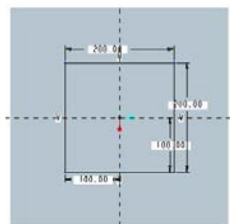


图 9.49　草图

9.5.3　施加热力载荷

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【热载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【热载荷（H）】命令，系统弹出“热载荷定义”对话框。

（2）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择刚才创建的曲面区域。

（3）选择【分布】下拉列表框中的“Total Load”选项，在【Value】文本框中键入 42，选择其后下拉列表框中的“W”选项。

（4）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成热载荷的定义，效果如图 9.50 所示。

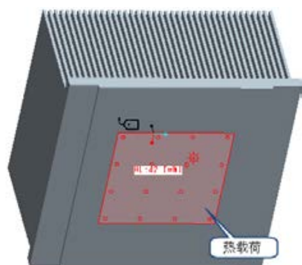


图 9.50　添加的热载荷

9.5.4　设置边界条件

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对流条件】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对流条件（C）】命令，系统弹出“对流条件”对话框。

（2）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择如图 9.51 所示曲面。

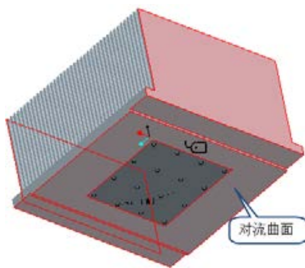


图 9.51　对流曲面

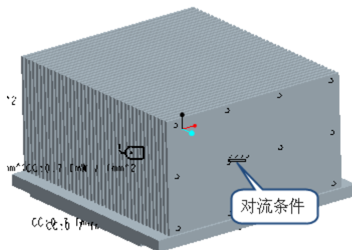


图 9.52　创建的对流条件

（3）选择【对流系数（h）】选项组中【Spatial Variation】下拉列表框中的“Uniform”选项，在【Value】文本框中键入 0.7，选择其后下拉列表框中的“mW/(mm2℃)”选项；

（4）选择【体表温度（Tb）】选项组中【Spatial Variation】下拉列表框中的“Uniform”选项，在【Value】文本框中键入 30，选择其后下拉列表框中的“℃”选项。

（5）其他选项为系统默认值，单击【预览 h】或【预览 Tb】按钮，效果如图 9.52 所示，单击【确定】按钮，完成规定温度边界条件的创建。

9.5.5　运行分析并获取结果

（1）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究（E）】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（2）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建稳态热分析】命令，系统弹出“稳态热分析定义”对话框。

（3）选中【约束】列表框中的“BndryCondSet1”约束集。

（4）选中【载荷】列表框中的“ThermLoadSet1”载荷集。

（5）单击【收敛性】选项卡，选中【方法】下拉列表框中的“单通道自适应”选项。

（6）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中【热通量】复选框，在【出图】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8。

（7）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成稳态热分析的创建，返回“分析和设计研究”对话框。

（8）选中列表框中的稳态热分析，单击工具栏上的【开始】按钮，或选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示稳态热分析过程以及分析出现的问题。

（9）在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中稳态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（10）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（11）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Temperature”选项，选择其后下拉列表框中的“C”温度单位选项。

（12）单击【显示选项】选项卡，勾选【连续色调】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（13）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 9.53 所示。

（14）退出结果窗口，返回“分析和设计研究”对话框，完成稳态热分析。

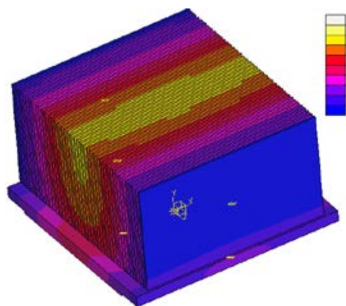


图 9.53　温度条纹图




第 3 篇

综合实例篇

本篇以最常见的二级减速器、活塞连杆机构为例，详细讲述了动力学和结构分析创建过程，使读者巩固各模块中常见工具的使用方法和技巧，通过举一反三，让读者具有独立完成项目分析设计的能力。




第 10 章　二级减速器仿真



内容导航

当今的减速器是向着大功率、大传动比、小体积、高机械效率以及使用寿命长的方向发展。近十几年来，由于近代计算机技术与数控技术的发展，使得机械加工精度，加工效率大大提高，设计周期缩短，市场需求产品种类繁多。所以，计算机设计、仿真模拟成为现代企业研发部门中必不可少的研发产品技术。本章详细介绍二级圆柱减速机的运动仿真，为 proe 爱好者、减速机研发人员提供举一反三作用。

10.1　二级减速器仿真概述

减速器的核心部件就是齿轮传动。齿轮传动是现代机械中应用最广的一种传动形式。它的主要优点是：

- ❑ 瞬时传动比恒定、工作平稳、传动准确可靠，可传递空间任意两轴之间的运动和动力。
- ❑ 适用的功率和速度范围广。
- ❑ 传动效率高，η=0.92~0.98。
- ❑ 工作可靠、使用寿命长。
- ❑ 外轮廓尺寸小、结构紧凑。

由齿轮、轴、轴承及箱体组成的齿轮减速器，用于原动机和工作机或执行机构之间起匹配转速和传递转矩的作用，在现代机械中应用极为广泛。

减速器是一种相对精密的机械，使用它的目的是降低转速，增加转矩。它的种类繁多，型号各异，不同种类有不同的用途。减速器的种类繁多，按照传动类型可分为齿轮减速器、蜗杆减速器和行星齿轮减速器；按照传动级数不同可分为单级和多级减速器；按照齿轮形状可分为圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器和圆锥－圆柱齿轮减速器；按照传动的布置形式又可分为展开式、分流式和同轴式减速器。

本章将介绍斜齿轮减速器的运动仿真，具体的参数特征见表 10.1 所示。

表 10.1　斜齿轮减速器特征参数

输入功率/kW	输入轴转速/（r/min）	效率 η	总传动比 i	传动特性											
				第一级					第二级						
				m_n	β	齿数		精度要求	m_n	β	齿数		精度要求
4.7	501.7	0.922	14.1	3	13.315	Z_1	22	8级	4	10.94	Z_1	26	8 级
						Z_2	98	8级			Z_2	82	8 级

10.2　装配模型

模型装配不仅要清楚装配模块中工具的使用方法，而且要熟悉机构模块中对模型的要求。在模型装配之前，需要对每个元件进行自由度分析。需要采用那种机构连接方式，方可进行模型的装配。否则，模型就不能在机构模块中进行运动仿真。

10.2.1　建立骨架模型

对于二级斜齿轮减速器，传动轴与轴承内圈固定连接，然后，轴承内圈与外圈之间相对旋转而不移动。为了方便模拟，就不绘制箱体和轴承，直接使用骨架模型代替轴承和箱体。骨架模型的创建步骤如下:

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【设置工作目录（W）】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，如图 10.1 所示，选择活塞所在的文件夹，单击【确定】按钮，完成工作目录的设置。

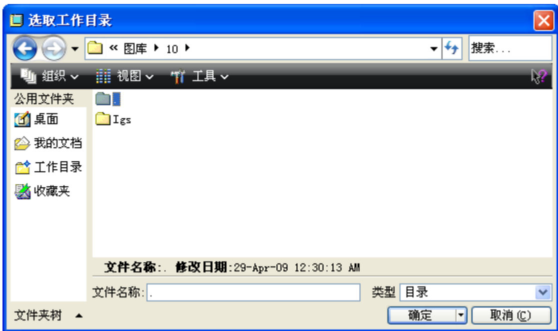


图 10.1　“选取工作目录”对话框

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建（N）】命令，系统弹出“新建”对话框，如图 10.2 所示，点选【组件】单选钮，在【名称】文本框中输入 000，取消【使用缺省模板】复选框的勾选，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框，如图

10.3 所示。

（3）在“新文件选项”对话框的【模板】列表框中选择“mmns_asm_design”选项，单击【确定】按钮，进入装配设计模块。

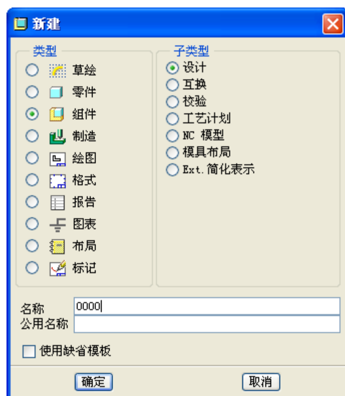


图 10.2 “新建”对话框



图 10.3 “新文件选项”对话框

（4）单击“工程特征”工具栏中的【创建】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【创建（C）】命令，系统弹出“元件创建”对话框，如图 10.4 所示.

（5）在“元件创建”对话框中，点选【骨架模型】单选钮，在【名称】文本框中输入“000_SKEL”，单击【确定】按钮，系统弹出“创建选项”对话框，如图 10.5 所示，点选【空】单选钮，单击【确定】按钮，进入元件创建平台。

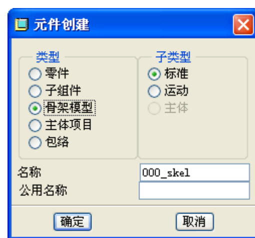


图 10.4 “元件创建”对话框

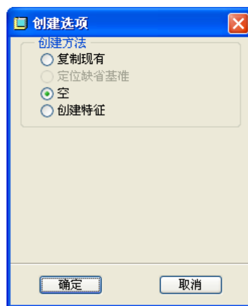


图 10.5 “创建选项”对话框

（6）单击“基准”工具栏中的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框。如图 10.6 所示，按住 Ctrl 键，在 3D 模型中选择 TOP、FRONT 基准面作为参照平面，基准轴穿过两参照平面，单击【确定】按钮，完成基准轴 1 的创建。

（7）单击“基准”工具栏中的【平面】工具按钮，系统弹出“基准平面”对话框。如图 10.7 所示，在 3D 模型中选择 FRONT 基准平面作为参照平面，在【平移】文本框中键入“185”，单击【确定】按钮，完成基准平面 ADTM1 的创建。

（8）单击“基准”工具栏中的【平面】工具按钮，系统弹出“基准平面”对话框

框。在 3D 模型中选择 ADTM1 基准平面作为参照平面，在【平移】文本框中键入 220，单击【确定】按钮，完成基准平面 ADTM2 的创建。

（9）单击“基准”工具栏中的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，按住 Ctrl 键，在 3D 模型中选择 TOP、ADTM1 基准面作为参照平面，基准轴穿过两参照平面，单击【确定】按钮，完成基准轴 2 的创建。

（10）单击“基准”工具栏中的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，按住 Ctrl 键，在 3D 模型中选择 TOP、ADTM2 基准面作为参照平面，基准轴穿过两参照平面，单击【确定】按钮，完成基准轴 3 的创建。

（11）选择菜单栏中的【窗口（W）】→【激活（A）】命令，激活当前的装配模块，创建的 3 个基准轴如图 10.8 所示。



图 10.6 “基准轴对”话框



图 10.7 “基准平面”对话框

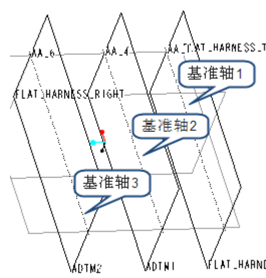


图 10.8 创建 3 个基准轴

10.2.2 装配传动轴

减速器中轴、齿轮是按照一定规律进行分布，如图 10.9 所示为减速器中齿轮和轴分布图。为了齿轮啮合的完全，每对啮合的齿轮厚度中心是重合的。图中的小齿轮比大齿轮厚度宽 5mm，即轴肩相差 2.5mm。

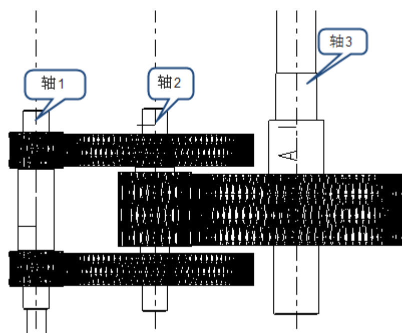


图 10.9 轴、齿轮分布图

传动轴的具体装配步骤如下：

（1）单击“工程特征”工具栏中的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 1.prt，

单击【打开】按钮，轴 1 就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板，如图 10.10 所示。

（2）在【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中选择“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择基准轴 AA_1 的轴线和轴 1 的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择组件的 RIGHT 基准平面和轴 1 的轴肩端面，如图 10.11 所示；

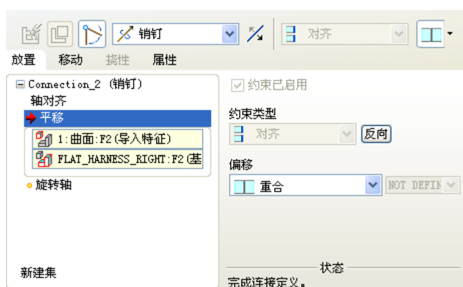


图 10.10　元件装配控制面板

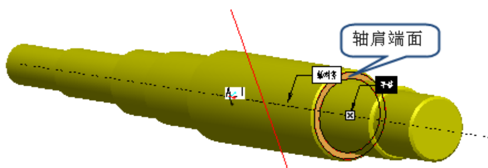


图 10.11　选择轴肩端面

（3）在元件装配控制面板的【状态】区中显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成轴 1 的装配连接。

（4）单击“工程特征”工具栏中的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 2.prt，单击【打开】按钮，轴 2 添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（5）在【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中选择“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择基准轴 AA_2 的轴线和轴 2 的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择组件的 RIGHT 基准平面和轴 2 的轴肩端面，如图 10.12 所示，单击控制面板中【将元件偏移放置到组件参照】按钮，在其后的下拉列表框中输入 2.5。



注意

轴肩端面与基准平面 RIGHT 之间的位置关系参见图 10.13 所示。

（6）在元件装配控制面板的【状态】区中显示“完成连接定义”选项，单击【完成】按钮，完成轴 2 的装配连接，效果如图 10.13 所示.

（7）单击“工程特征”工具栏中的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 3.prt，单击【打开】按钮，将轴 3 添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

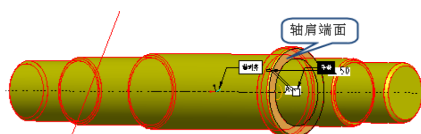


图 10.12　选择的轴肩端面

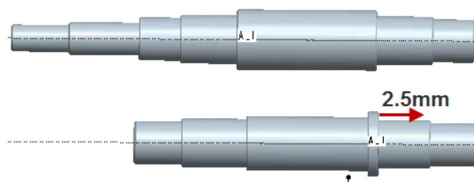


图 10.13　装配后的轴 1 和轴 2

（8）在【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中选择“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择基准轴 AA_3 的轴线和轴 3 的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择组件的 RIGHT 基准平面和轴 3 的轴肩端面，如图 10.14 所示，单击控制面板中【将元件偏移放置到组件参照】按钮，在其后的下拉列表框中键入 10。

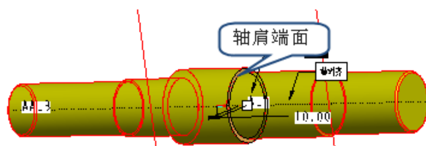


图 10.14　选择的轴肩端面



注意

轴肩端面与基准平面 RIGHT 之间的位置关系参见图 10.15 所示。

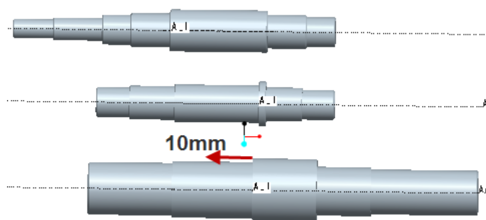


图 10.15　装配后的轴

（9）在控制面板的【状态】区中显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成轴 2 的装配连接，效果如图 10.15 所示。

10.2.3　装配齿轮

齿轮与轴是采用键连接传递动力。二级斜齿轮减速器使用到 4 种齿轮，参数见表 10.2 所示。本章不再介绍齿轮的画法，读者可以按照表中的参数绘制齿轮三维图。

齿轮的具体装配步骤如下所示：

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 A.prt，单击【打开】按钮，齿轮 A 就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

表 10.2　齿轮参数

		d	m	z	a	b	β	h_a^*	c^*	α
高速级	大	151	3	98	185	50	13.3°	1	0.25	20°
	小	34		22		55				
低速级	大	167	4	82	220	110	10.9°			
	小	53		26		114				

（2）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“插入”选项，在 3D 模型中选择齿轮 A 中心孔内表面和轴肩圆表面，如图 10.16 所示。

（3）在【放置】选项卡中，单击【新建集】按钮，选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“对齐”选项，在 3D 模型中选择齿轮端面和轴肩端面，如图 10.17 所示。

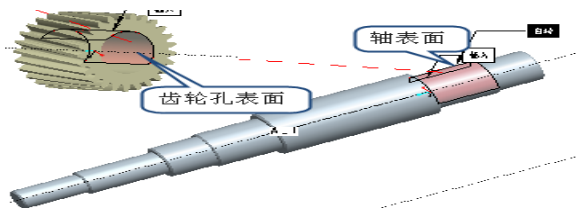


图 10.16　插入约束面

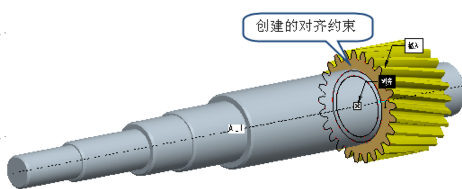


图 10.17　对齐约束元素

（4）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成齿轮 A 的装配连接。

（5）使用同样的方法，在另一轴肩装配一齿轮，效果如图 10.18 所示。

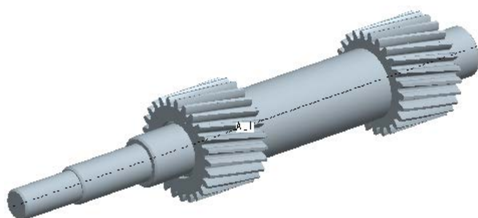


图 10.18　齿轮 A 装配图

（6）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 B.prt，单击【打开】按钮，齿轮 B 就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件

装配控制面板。

（7）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“插入”选项，在 3D 模型中选择齿轮 B 中心孔内表面和轴肩圆表面，如图 10.19 所示。

（8）在【放置】选项卡中，单击【新建集】按钮，选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“对齐”选项，在 3D 模型中选择齿轮端面和轴肩端面，如图 10.20 所示。

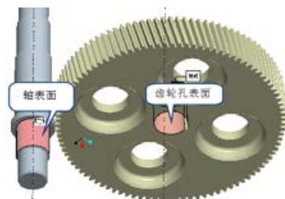


图 10.19　插入约束元素

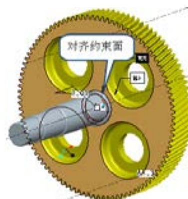


图 10.20　对齐约束元素

（9）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成齿轮 B 的装配连接。

（10）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 C.prt，单击【打开】按钮，齿轮 C 就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（11）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“插入”选项，在 3D 模型中选择齿轮 C 中心孔内表面和轴肩圆表面，如图 10.21 所示。

（12）在【放置】选项卡中，单击【新建集】按钮，选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“对齐”选项，在 3D 模型中选择齿轮端面和轴肩端面，如图 10.22 所示。

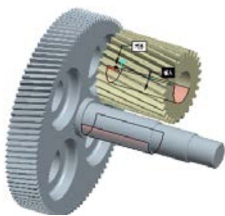

图 10.21　插入约束元素


图 10.22　对齐约束元素

（13）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成齿轮 C 的装配连接，效果如图 10.23 所示。

（14）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件

B.prt，单击【打开】按钮，齿轮 B 就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（15）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“插入”选项，在 3D 模型中选择齿轮 B 中心孔内表面和轴肩圆表面，如图 10.24 所示。



图 10.23　装配后的齿轮 C

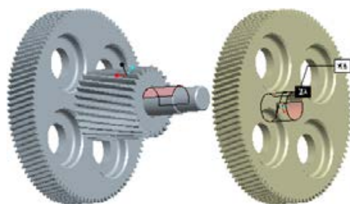


图 10.24　插入约束元素

（16）在【放置】选项卡中，单击【新建集】按钮，选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“对齐”选项，在 3D 模型中选择齿轮端面和轴肩端面，如图 10.25 所示，单击控制面板中【将元件偏移放置到组件参照】按钮，在其后的下拉列表框中键入 3。

（17）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成齿轮 B 的装配连接，效果如图 10.26。

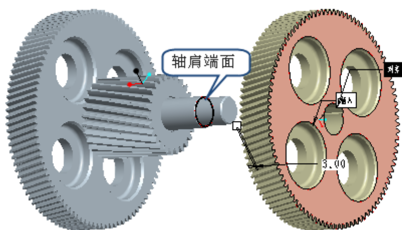


图 10.25　对齐约束元素

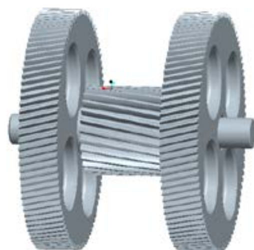


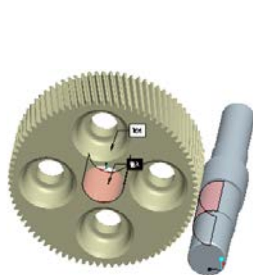
图 10.26　组装后的齿轮 B、齿轮 C

（18）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 D.prt，单击【打开】按钮，齿轮 D 就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（19）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“插入”选项，在 3D 模型中选择齿轮 D 中心孔内表面和轴肩圆表面，如图 10.27 所示。

（20）在【放置】选项卡中，单击【新建集】按钮，选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，选择其后下拉列表框中的“对齐”选项，在 3D 模型中选择齿轮端面和轴肩端面，如图 10.28 所示，单击控制面板中【将元件偏移放置

到组件参照】按钮，在其后的下拉列表框中键入 6。


图 10.27　插入约束元素

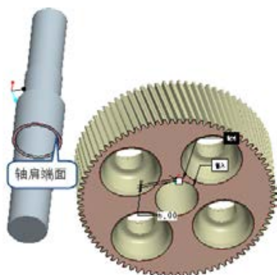
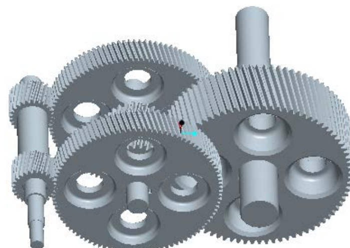


图 10.28　对齐约束元素

（21）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成齿轮的装配连接，效果如图 10.29 所示。


图 10.29　齿轮机构

10.3　建立运动模型

在装配模块中，通过机构连接和约束工具，对模型进行运动设置。然后，就需要进入机构模块对运动机构进行特殊机构连接、伺服电动机和运动环境设置。

10.3.1　设置连接

机构模块中提供凸轮、齿轮、V 带、3A 接触等特殊机构连接的定义。二级斜齿轮减速器中齿轮机构就需要在这里进行设置，可以保证齿轮的传动比符合设计要求。具体操作步骤如下：

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P)】→【机构（E)】命令，系统自动进行机构平台。

（2）单击“模型”工具栏上的【齿轮】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【齿轮（G)】命令，系统弹出“齿轮副定义”对话框，如图 10.30 所示。

（3）单击【齿轮 1】选项卡，单击【运动轴】选项组中的箭头按钮，系统弹出

“选取”对话框，在 3D 模型中选择轴 1，如图 10.31 所示，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮。

（4）在【节圆】选项组中【直径】文本框中键入 34mm。

（5）单击【齿轮 1】选项卡，单击【运动轴】选项组中的箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择轴 2，如图 10.31 所示，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮。

（6）在【节圆】选项组中【直径】文本框中键入 151mm。

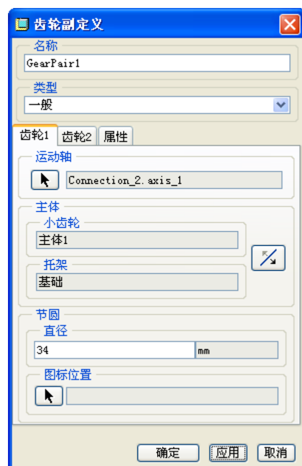


图 10.30　“齿轮副定义”对话框

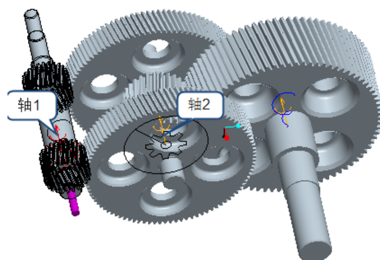


图 10.31　齿轮副定义的传动轴

（7）单击【确定】按钮，完成轴 1 与轴 2 之间齿轮的连接。

（8）单击“模型”工具栏上的【齿轮】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【齿轮（G）】命令，系统弹出“齿轮副定义”对话框。

（9）单击【齿轮 1】选项卡，单击【运动轴】选项组中的箭头按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选择轴 2，如图 10.32 所示，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮。

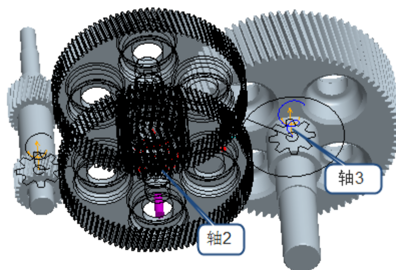


图 10.32　齿轮传动轴

（10）在【节圆】选项组中【直径】文本框中键入 53mm。

（11）单击【齿轮 1】选项卡，单击【运动轴】选项组中的箭头按钮，系统弹出

“选取”对话框，在 3D 模型中选择轴 3，如图 10.32 所示，在“选取”对话框中，单击【确定】按钮。

（12）在【节圆】选项组中【直径】文本框中键入 167mm。

（13）单击【确定】按钮，完成轴 2 与轴 3 之间的齿轮连接。

10.3.2 检查机构

当进行机构连接后，是否能够按照设计目标运动，就要检查模型的装配与连接是否合理。检查模型的命令就是拖动。

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【机构（E）】命令，系统自动进行机构平台。

（2）单击“视图”工具栏上的【拖动元件】工具按钮，或选择菜单栏中的【视图（V）】→【方向（Q）】→【拖动元件（D）】命令，系统弹出“拖动”对话框，如图 10.33 所示。

（3）在 3D 模型中，选择拖动点，如图 10.34 所示。

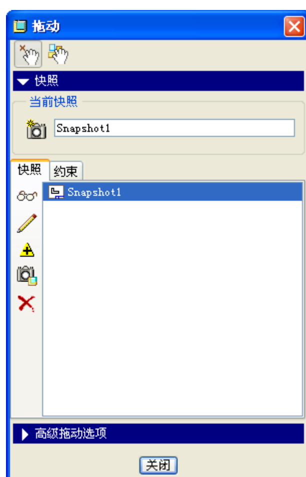


图 10.33 “拖动”对话框



图 10.34 拖动点

（4）在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，移动鼠标，模型运动如图 10.35 所示。

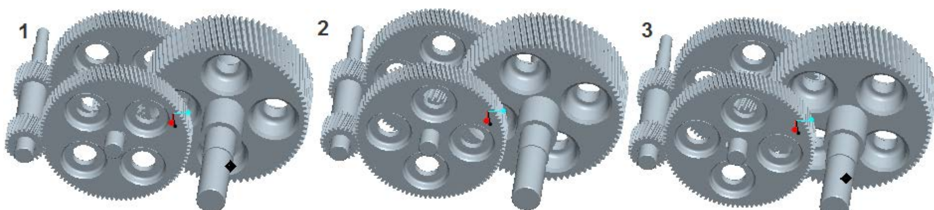


图 10.35 拖动示意图

（5）单击“拖动”对话框中的【关闭】按钮，完成模型的拖动。



注意

拖动过程中，机构没有按照你的设计目标运动，需要进行检查那不设置不合理，否则就可以进行下面的工作。

10.3.3　定义伺服电动机

当机构的连接和装配没有问题时，就可以给机构添加动力源—伺服电动机。

（1）单击“模型”工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，系统弹出“伺服电动机定义”对话框，如图 10.36 所示，点选【从动图元】选项组中【运动轴】单选按钮，单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择伺服电动机旋转轴，如图 10.37 所示。



图 10.36　“伺服电动机定义”对话框

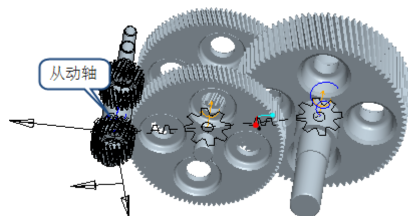


图 10.37　伺服电动机旋转轴

（2）在“伺服电动机定义”对话框中，单击【轮廓】按钮，选择【规范】下拉列表框中的“速度”选项，选择【模】下拉列表框中的“常数”选项，在【A】文本框中键入 360，单击【确定】按钮，完成伺服电动机的创建，最终效果如图 10.38 所示。

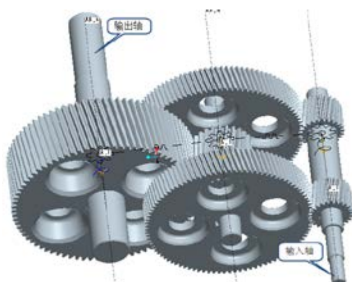


图 10.38　二级斜齿轮减速器

10.4　运动分析

前面已经对运动分析模型进行机构连接和运动环境设置，接下来就是对其进行分

析，然后输出分析结果。

10.4.1 运动学分析

根据机构的结构不同和所需目标不同，可以对机构进行位置、运动学、动态、静态、力平衡等分析。对于二级斜齿轮减速器，运动仿真是分析中最主要的。下面就对其齐进行运动学分析：

（1）选择菜单栏中的【分析（A）】→【机构分析（Y）】命令，或单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，如图 10.39 所示。

（2）在“分析”对话框中，【类型】下拉列表框中选择“运动学”选项，在【终止时间】文本框中键入 20。

（3）其他选项为系统默认值，单击【运行】按钮，模型就开始运动，效果参见目录下的 000.avi。

（4）单击【确定】按钮，完成运动学分析。

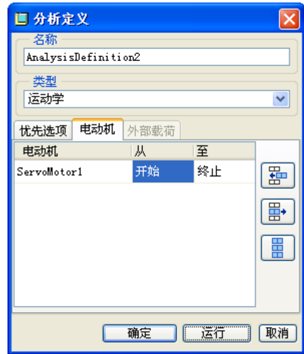


图 10.39 “分析定义”对话框

10.4.2 回放

回放是对机构进行运动干涉检测、创建运动包络和动态影像捕捉等功能。对于不同的机构，只能实现部分功能。对于二级斜齿轮减速器，只能进行运动干涉检测和动态影像捕捉。

（1）单击“运动”工具栏上的【回放】工具按钮，系统弹出“回放”对话框，如图 10.40 所示。

（2）在【结果集】下拉列表框中选择“AnalysisDefinition1”选项，单击【碰撞检测】按钮，系统弹出“碰撞检测设置”对话框，如图 10.41 所示，点选【全局碰撞检测】单选按钮，【包括面组】、【发生碰撞冲突时会响起消息铃声】和【碰撞时停止动画回放】复选框，单击【确定】按钮，返回“回放”对话框。

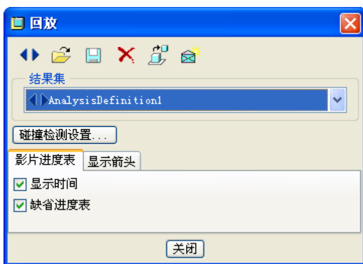


图 10.40 “回放”对话框

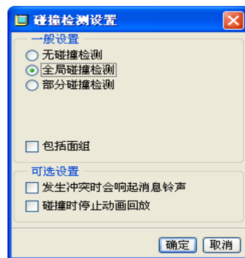


图 10.41 “碰撞检测设置”对话框

（3）单击【影片进度表】选项卡，勾选【显示时间】和【缺省进度表】复选框，单击对话框中【回放】按钮◀▶，系统开始检测碰撞。

（4）大约几十分钟后，系统弹出“动画”对话框，如图 10.42 所示。



注意

如果你的计算机配置不是很高，建议你不要进行碰撞检测，容易产生死机等现象。

（5）单击【播放】按钮▶，播放的效果参见目录下的 000.avi。

（6）单击【捕获】按钮，系统弹出“捕获”对话框，如图 10.43 所示。

（7）勾选【质量】选项组中【照片级渲染帧】复选框，单击【确定】按钮，系统在目录下生成捕获动画文件 000.mpg。



图 10.42　“动画”对话框

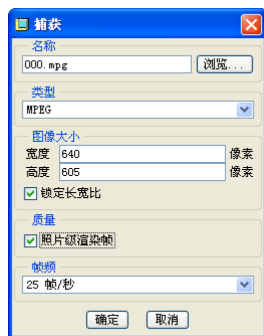


图 10.43　“捕获”对话框

（8）大约几十分钟后，系统自动返回“动画”对话框，单击【关闭】按钮，返回“回放”对话框。

（9）单击【关闭】按钮，完成回放碰撞检测和动画捕获。

10.4.3　生成分析测量结果

（1）单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框，如图 10.44 所示，单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 10.45 所示；

（2）在“测量定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“速度”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择轴 2，如图 10.46 所示。

（3）单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框。

（4）单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，在“测量定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“速度”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择轴 3，如图 10.46 所示。

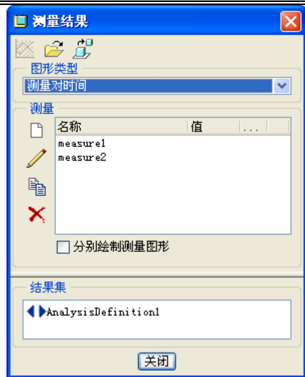


图 10.44 “测量结果”对话框



图 10.45 “测量定义”对话框

（5）单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框。

（6）按 Ctrl 键，选中【测量】列表框中的“measure1”和“measure2”测量选项，选中【结果集】列表框中的“AnalysisDefinition1”选项。

（7）其他选项为系统默认值，单击【绘制选定结果集所选测量的图形】按钮，系统弹出图形窗口，显示两轴的速度曲线，如图 10.47 所示。

（8）退出图形窗口，关闭测量结果窗口，保存模型，完成二级斜齿轮减速器的仿真。

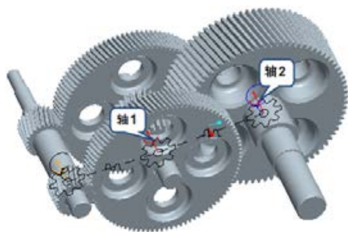


图 10.46 测量对象

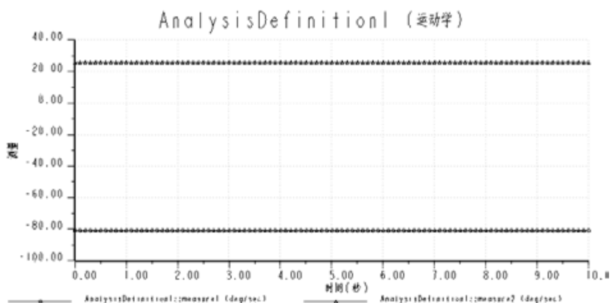


图 10.47 速度曲线

第 11 章　活塞连杆机构



内容导航

活塞连杆是机械行业中常见的曲柄滑块机构,应用该机构最典型的实例就是发动机气缸，它可以将燃气能源转换为机械动能。广泛应用到动力机械的动力源，如汽车、轮船、飞机等。本章将详细介绍活塞连杆机构的运动仿真以及结构分析。作为我们今后对类似产品进行分析的典范。

11.1　运动仿真

对活塞连杆机构进行运动仿真，可以进一步分析其运动是否合理、结构是否发生运动干涉等技术信息。下面从活塞连杆的装配到运动仿真详细介绍，如图 11.1 所示的活塞连杆机构。

11.1.1　组装活塞

1．进入装配模块

（1）选择菜单栏中的【文件（F)】→【设置工作目录（W)】命令，系统弹出“选取工作目录”对话框，选择活塞所在的文件夹，单击【确定】按钮，完成工作目录的设置。

（2）选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建（N)】命令，系统弹出“新建”对话框，点选【组件】单选钮，在【名称】文本框中输入“001”，取消对【使用缺省模板】复选框的勾选，单击【确定】按钮，系统弹出“新文件选项”对话框。

（3）在“新文件选项”对话框的【模板】列表框中选择“mmns_asm_design”选项，单击【确定】按钮，进入装配设计模块。

2．创建骨架模型

（1）单击“工程特征”工具栏中的【创建】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I)】→【元件（C)】→【创建（C)】命令，系统弹出“元件创建”对话框，如图 11.2

所示。

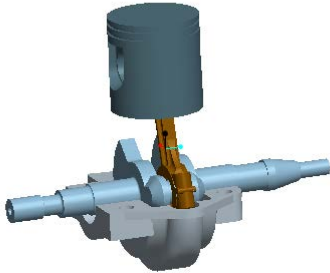


图 11.1　活塞连杆机构

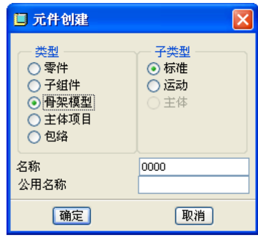


图 11.2　“元件创建”对话框

（2）在“元件创建”对话框中，点选【骨架模型】单选钮，在【名称】文本框中输入 0000，单击【确定】按钮，系统弹出“创建选项”对话框，点选【空】单选钮，单击【确定】按钮，进入元件创建平台。

（3）单击“基准”工具栏中的【轴】工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，如图 11.3 所示，按住 Ctrl 键，在模型中选择 FRONT、RIGHT 基准面作为参照平面，基准轴穿过两参照平面，单击【确定】按钮，完成基准轴的创建。

3．装配活塞

（1）选择菜单栏中的【窗口（W）】→【激活（A）】命令，激活当前的装配模块。

（2）单击“工程特征”工具栏中的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 2.prt，单击【打开】按钮，将活塞添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板，如图 11.4 所示。



图 11.3　“基准轴”对话框

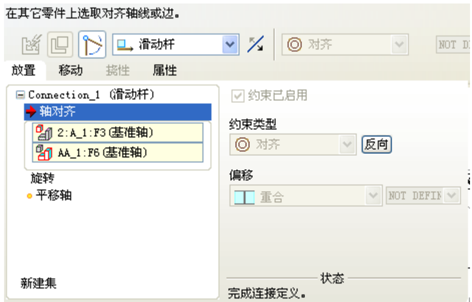


图 11.4　元件装配控制面板

（3）在【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中选择“滑动杆”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择刚才创建的基准轴和活塞垂直轴线，单击【旋转】按钮，在 3D 模型中选择活塞 DTM1 基准平面和组件 RIGHT 基准平面，如图 11.5 所示。

（4）在【放置】选项卡右下角的【状态】区中显示“完成连接定义”，单击【完成】按钮，完成活塞的装配约束，效果如图 11.6 所示。

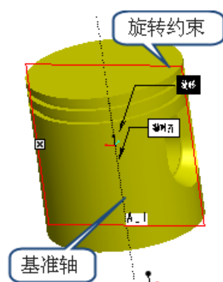


图 11.5　滑动杆



图 11.6　约束后的活塞

4．装配基座

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 1.prt，单击【打开】按钮，基座就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（2）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“用户定义”选项，在其后的下拉列表框中选择配对，单击【放置】选项卡，在 3D 模型中选择基座的基准平面和组件的基准平面，重复以上步骤，将其他 2 个基准平面进行约束。

（3）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成基座的装配约束，效果如图 11.7 所示。

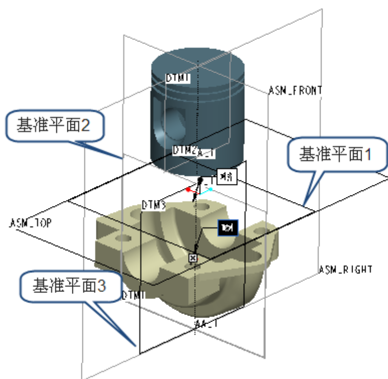


图 11.7　基座的约束

5．装配输出轴

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 3.prt，单击【打开】按钮，输出轴就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（2）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“销钉”选项，单击【放

置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择基座孔轴线和输出轴的轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择输出轴的曲柄侧面和基座的内侧面，如图 11.8 所示。

（3）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成输出轴的装配约束，效果如图 11.9 所示。

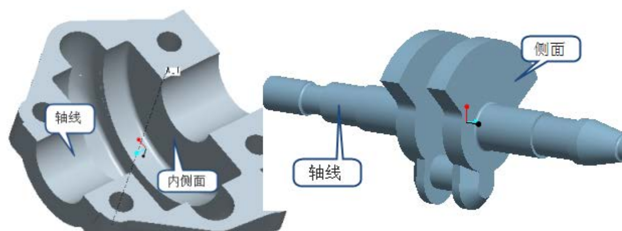


图 11.8　销钉连接约束几何元素

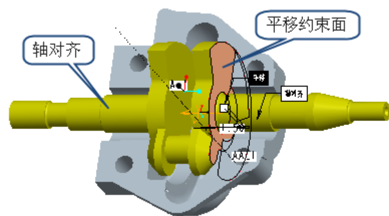


图 11.9　销钉连接

6．装配连杆

（1）单击“工程特征”工具栏上的【装配】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【元件（C）】→【装配（A）】命令，系统弹出“打开”对话框，选择元件 4.asm，单击【打开】按钮，连杆就添加到当前模型中，同时在信息提示栏中显示元件装配控制面板。

（2）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择输出轴曲轴轴线和连杆孔轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择输出轴的曲柄内侧面和连杆头外侧面，如图 11.10 所示。

（3）单击【放置】选项卡中【新建集】按钮，一个新的 Connection（连接）创建完成，如图 11.11 所示。

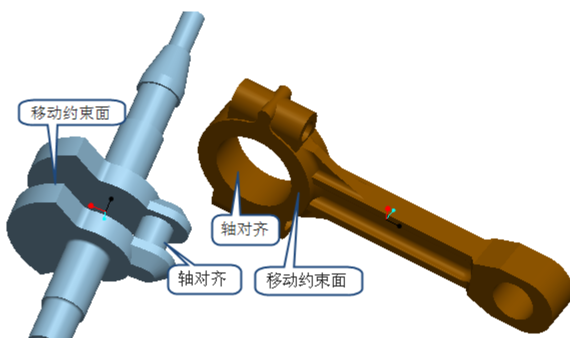


图 11.10　销钉连接几何元素

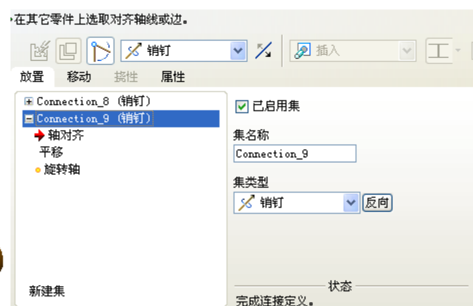


图 11.11　控制面板

（4）选中【将约束转化为机构连接】右侧下拉列表框中的“销钉”选项，单击【放置】选项卡，单击【轴对齐】按钮，在 3D 模型中选择活塞孔的轴线和连杆孔轴线，单击【平移】按钮，在 3D 模型中选择输出活塞内侧面和连杆头外侧面，如图 11.12 所示。

（5）在控制面板中【状态】文本框中显示“完成连接定义”选项，单击控制面板中的【完成】按钮，完成连杆的装配约束。

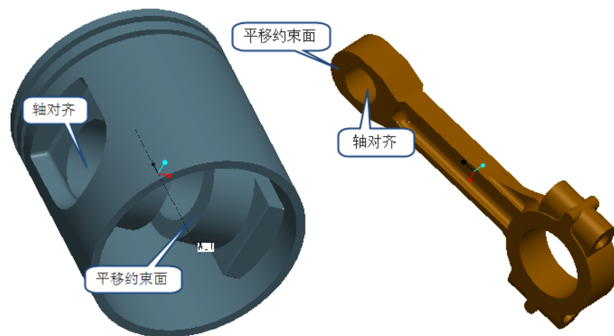


图 11.12　销钉约束元素

11.1.2　机构设置

在对机构进行设置之前，需要对机构进行检测，如果机构是符合设计意图，那么就可以对机构设置动力源和运动环境等模型元素。

1．检测机构

（1）选择菜单栏中的【应用程序（P)】→【机构（E)】命令，系统自动进行机构平台。

（2）单击“视图”工具栏上的【拖动元件】工具按钮，或选择菜单栏中的【视图（V)】→【方向（Q)】→【拖动元件（D)】命令，系统弹出“拖动”对话框和“选取”对话框。

（3）在 3D 模型中，选择拖动点，如图 11.13 所示。

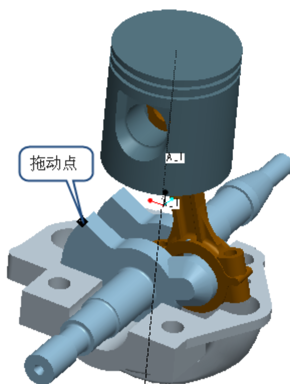


图 11.13　拖动点

（4）在“选取”对话框中，单击【确定】按钮，移动鼠标，模型运动如图 11.14 所示。

（5）单击“拖动”对话框中的【关闭】按钮，完成模型的拖动。

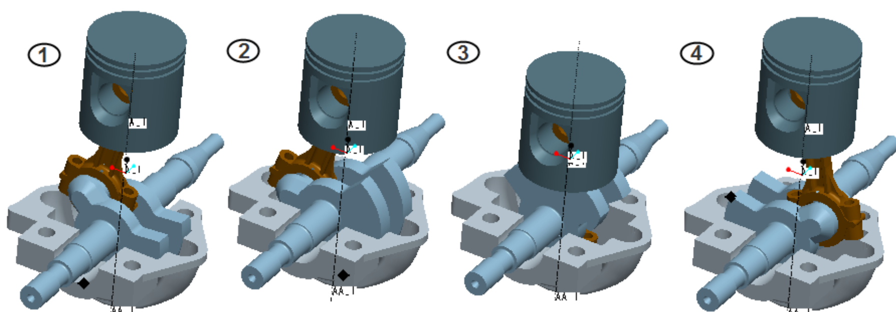


图 11.14　运动图

 **注意**

如果拖动过程中，模型的运动与设计意图相同，就可以继续进行模型的运动分析，否则，对模型重新连接。

2．添加伺服电动机

（1）单击“模型”工具栏上的【伺服电动机】工具按钮，系统弹出“伺服电动机定义”对话框，如图 11.15 所示，点选【从动图元】选项组中【运动轴】单选按钮，单击【选取】按钮，在 3D 模型中选择伺服电动机旋转轴，如图 11.16 所示。

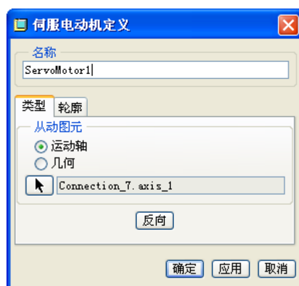


图 11.15　“伺服电动机定义”对话框

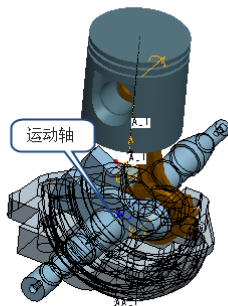


图 11.16　运动轴

（2）在“伺服电动机定义”对话框中，单击【轮廓】按钮，选择【规范】下拉列表框中的“速度”选项，选择【模】下拉列表框中的“常数”选项，在【A】文本框中键入 360，单击【确定】按钮，完成伺服电动机的创建。

11.1.3　运动分析

1．自由度分析

（1）单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，如图 11.17 所示，选择【类型】下来列表框中的“力平衡”选项，单击【自由度】

选项组中【DOF】右侧的【评估】按钮，在【DOF】文本框中显示为 0，表示模型系统的自由度为 0。如果没有创建伺服电动机时，进行自由度分析，【DOF】文本框中显示为 1，表示模型系统自由度为 1。



图 11.17　“分析定义”对话框



注意

从理论上，一个自由度代表只要确定机构中任意一个活动机构的位置，就可以确定机构中所有其他机构的位置。从数学意义来讲，整个机构只需要一个变量就可以确定下来。从实际应用的观点来看，可以认为一个有一个自由度的机构，只需一个伺服电动机就能驱动它。

2．运动仿真

（1）单击“运动”工具栏上的【机构分析】工具按钮，系统弹出“分析定义”对话框，选择【类型】下来列表框中的“运动学”选项，在【终止时间】文本框中键入 20。

（2）其他选项为系统默认值，单击【运行】按钮，模型就开始运动，效果参见目录下的 001.avi。

3．回放

（1）单击“运动”工具栏上的【回放】工具按钮，系统弹出“回放”对话框。

（2）单击【创建运动包络】工具按钮，系统弹出“创建运动包络”对话框，单击【选取元件】选项组中【选取】按钮，在 3D 模型中选择连杆，选中对话框中的【颠倒三角形】按钮，然后单击【预览】按钮，效果如图 11.18 所示。

（3）单击【关闭】按钮，返回“回放”对话框，单击【关闭】按钮，完成包络分析。

（4）在【结果集】下拉列表框中选择“AnalysisDefinition1”选项，单击【碰撞检测】按钮，系统弹出“碰撞检测设置”对话框，点选【全局碰撞检测】单选按钮，【包括

面组】、【发生碰撞冲突时会响起消息铃声】和【碰撞时停止动画回放】复选框，单击【确定】按钮，返回“回放”对话框。

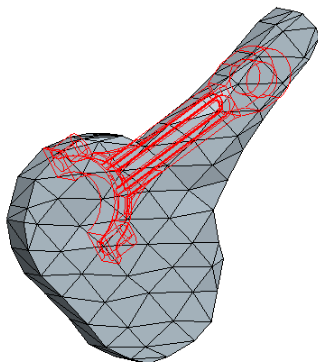


图 11.18　窗口的连杆包络

（5）单击【影片进度表】选项卡，勾选【显示时间】和【缺省进度表】复选框，单击对话框中【回放】按钮◀▶，系统开始检测碰撞。

（6）大约几十分钟后，系统弹出“动画”对话框，如图 11.19 所示。



注意

如果你的计算机配置不是很高，建议你不要进行碰撞检测，否则容易产生死机等现象。

（7）单击【播放】按钮▶，可以播放刚才建立的运动仿真过程。

（8）单击【捕获】按钮，系统弹出“捕获”对话框，如图 11.20 所示。

（9）勾选【质量】选项组中【照片级渲染帧】复选框，单击【确定】按钮，系统在目录下生成捕获动画文件 0000.mpg。



图 11.19　“动画”对话框



图 11.20　“捕获”对话框

（10）大约几十分钟后，系统自动返回“动画”对话框，单击【关闭】按钮，返回“回放”对话框。

（11）单击【关闭】按钮，完成回放碰撞检测和动画捕获。

4．分析测量结果

（1）单击“运动”工具栏上的【测量】工具按钮，系统弹出“测量结果”对话框，单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，如图 11.21 所示。

（2）在“测量定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“位置”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择活塞的孔轴线，如图 11.22 所示。



图 11.21　“测量定义”对话框

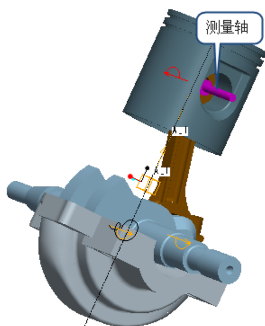


图 11.22　测量轴

（3）在“测量定义”对话框中，单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框，选中【测量】列表框中的“measure1”选项，选中【结果集】列表框中的“AnalysisDefinition2”选项，单击工具栏中的【绘制选定结果集所选测量的图形】按钮，系统弹出“图形工具”对话框，对话框中显示结果，如图 11.23 所示。

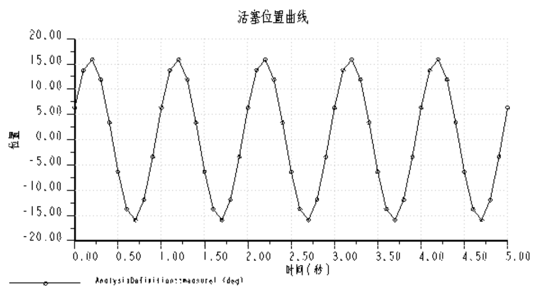


图 11.23　活塞轴线位置曲线

（4）单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，选择【类型】下来列表框中的“速度”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择如图 11.24 所示销轴，即活塞运动的速度和加速度。

（5）单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框，单击【创建新测量】工具按钮，系统弹出“测量定义”对话框，在“测量定义”对话框中，选择【类型】下来列表框中的“加速度”选项，单击【点或运动轴】选项组中的【选取】按钮，在 3D 模型中选择如图 11.24 所示销轴。

（6）单击【确定】按钮，返回“测量结果”对话框，按 Ctrl 键，选中【测量】列表框中的“measure1”和“measure2”测量选项，选中【结果集】列表框中的

“AnalysisDefinition”选项，此时“测量结果”对话框，如图 11.25 所示，显示当前位置的瞬时计算值。

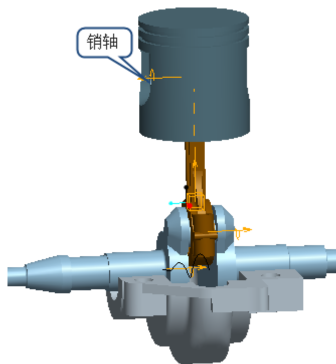


图 11.24　选取的销轴

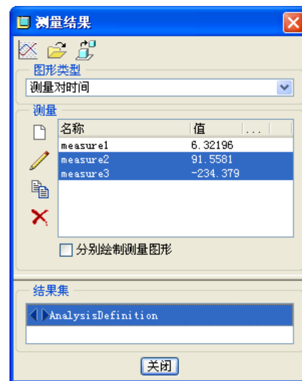


图 11.25　“测量结果”对话框

（7）其他选项为系统默认值，单击【绘制选定结果集所选测量的图形】按钮，系统弹出图形窗口，销轴的速度和加速度曲线，如图 11.26 所示。

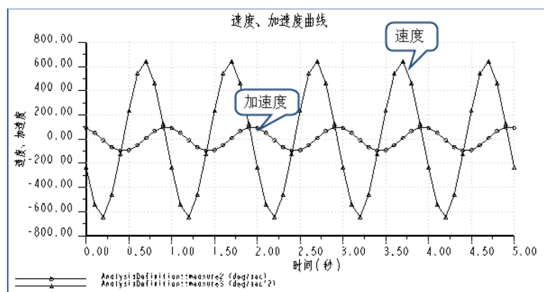


图 11.26　速度、加速度曲线

（8）退出图形工具窗口，保存分析结果，完成模型的仿真分析。

11.2　活塞结构分析

活塞是汽车发动机的“心脏”，承受交变的机械负荷和热负荷，是发动机中工作条件最恶劣的关键零部件之一。活塞的功用是承受气体压力，并通过活塞销传给连杆驱使曲轴旋转。活塞在高温、高压、高速、润滑不良的恶劣条件下工作。活塞直接与高温气体接触，瞬时温度可达 2500K 以上，因此，受热严重，而散热条件又很差。活塞顶部承受气体压力很大，特别是作功行程压力最大，汽油机高达 3～5MPa，柴油机高达 6～9MPa，这就使得活塞产生冲击，并承受侧压力的作用。所以对活塞进行结构分析是相当必要的。

11.2.1 建立分析模型

分析条件：活塞顶部受到 2500K、 9MPa 高温气体作用，在复返 1 千万次运行的疲劳安全系数。活塞为 Al6061 合金铝，抗拉强度为 290MPa，屈服强度为 240MPa，疲劳强度为 95MPa，热传导为 167W/m°C。

1．简化模型并分配材料

（1）打开模型元件 2.prt，在模型树中删除镜像特征，最终效果如图 11.27 所示；



注意

简化模型时，不影响分析结构的特征简化掉，尽量不能出现锐角等难以进行网格化的结构缺陷，否则容易产生分析错误。如果出现不可避免锐角，可采用倒圆角工具使其圆滑过度。简化后的模型，尽量结构简单，以减少分析中产生的错误和降低计算分析时间。

（2）选择菜单栏中的【应用程序（P）】→【Mechanica（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Structure”选项，单击【确定】按钮，进入结构分析平台。

（3）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【材料分配】工具按钮，或选择菜单栏中的【属性（R）】→【材料分配（A）】命令，系统弹出“材料指定”对话框，单击【属性】选项组中【Material】选项组中【更多】按钮，系统弹出“材料”对话框。

（4）选中“AL6061.mtl”材料选项，使其高亮显示，选择菜单栏中的【编辑】→【属性】命令，系统弹出“材料定义”对话框，如图 11.28 所示。

（5）在【拉伸屈服应力】文本框中键入 240，选中其后下拉列表框中的“MPa”选项，在【抗张极限应力】文本框中键入 290，选中其后下拉列表框中的“MPa”选项。

（6）选择【失效准则】下拉列表框中的“最大剪切应力（Tresca）”选项，【疲劳】下拉列表框中的“统一材料法则（UML）”选项，选中其下的【材料类型】下拉列表框中的“铝合金”选项，【表面光洁度】下拉列表框中的“已上光”选项，在【失效强度衰减因子】文本框中键入 2。

（7）其他选项为系统默认值，单击【保存到库】按钮，将其设置保存在库中。

（8）双击【库中的材料】列表框中的“AL6061.mtl”材料，使其添加到右侧【模型中的材料】列表框中，单击【确定】按钮，返回“材料指定”对话框，完成模型材料的分配。

2．定义约束

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【位移约束】工具按钮，或选择菜单栏

中的【插入（I）】→【位移约束（I）】命令，系统弹出“销钉约束”对话框，如图 11.29 所示。

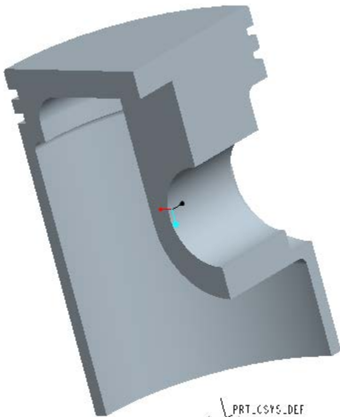


图 11.27　简化后的模型

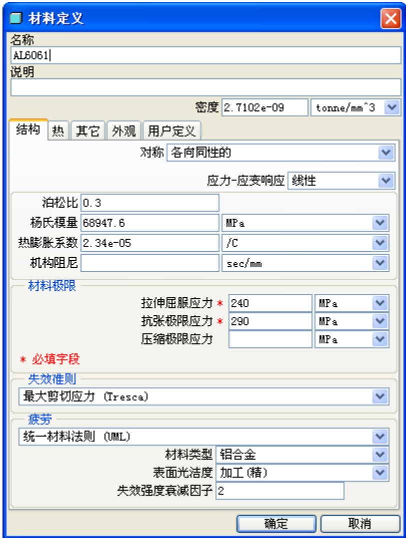


图 11.28　“材料定义”对话框

（2）单击【参照】列表框中的空白，在 3D 模型中选择孔内表面，如图 11.30 所示，选中【角度约束】选项组中的【自由】按钮和【轴约束】选项组中【固定】按钮。

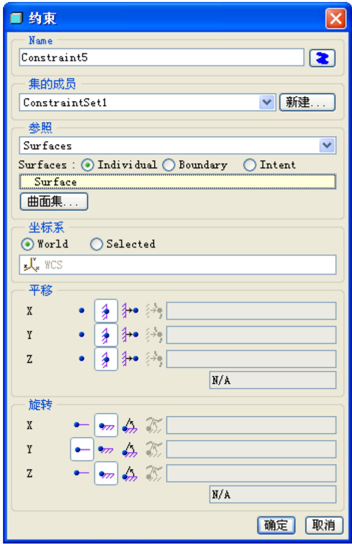


图 11.29　销钉约束

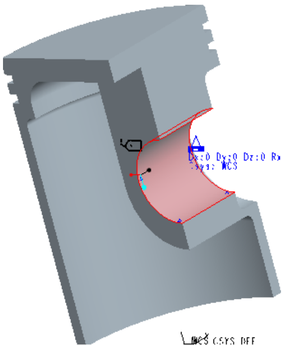


图 11.30　约束曲面

（3）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成销钉约束的创建。

（4）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对称束】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对称约束（Y）】命令，系统弹出“销钉约束”对话框，如图 11.31 所示。

（5）单击【参照】列表框中的空白，在 3D 模型中选择对称平面，如图 11.32 所示。



图 11.31　“对称约束”对话框

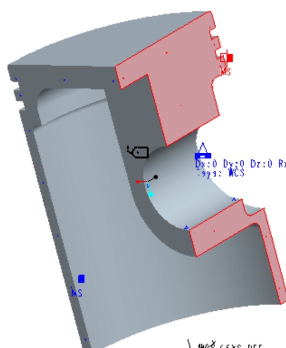


图 11.32　约束曲面

（6）使用同样的方法，对齐另一对称面添加对称约束，其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成对称约束的创建。

3．创建载荷

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【压力载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【压力载荷（L）】命令，系统弹出“压力载荷”对话框，如图 11.33 所示。

（2）选择【参照】下拉列表框中“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择活塞上表面，如图 11.34 所示。

（3）在【压力】选项组中【Value】文本框中键入 9，选择其后下拉列表框中“Mpa“单位选项。

（4）其他选项为默认值，单击【确定】按钮，完成压力载荷的定义。



图 11.33　“压力载荷”对话框

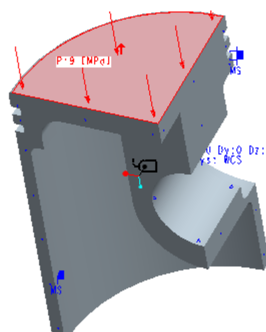


图 11.34　压力载荷施加面

11.2.2　结构分析

1．静态分析

条件：活塞在约束条件下，受到 9MPa 压力作用时，计算其应力和变形。

（1）选择菜单栏中的【分析（A）】→【Mechanica 分析/研究】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框，如图 11.35 所示。

（2）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建静态分析】命令，系统弹出“静态分析定义”对话框。

（3）选中【约束】列表框中的“ConstrainSet1”约束集选项，使其高亮显示。

（4）选中【载荷】列表框中的“LoadSet1”载荷集选项，使其高亮显示。

（5）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中的【应力】、【旋转】、【反作用】复选框，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成静态分析的创建。

（6）选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示“询问”对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示静态分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的静态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Stress”选项，选择其后下拉列表框中的“MPa”选项，选择【分量】下拉列表框中的“von Mises”选项。

（10）单击【图形位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模型阅览窗口，在窗口中选择活塞边线，如图 11.36 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

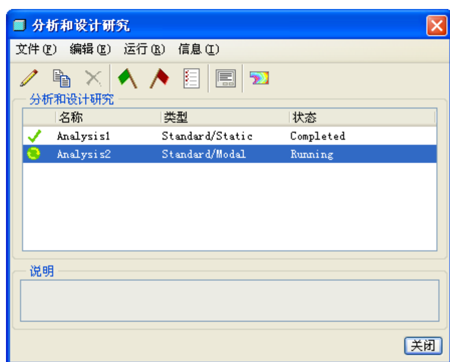


图 11.35 “分析和设计研究”对话框

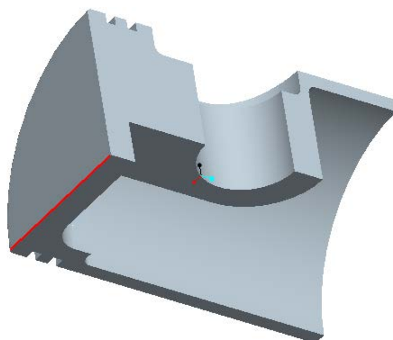


图 11.36 选取的测量曲线

（11）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形量曲线，如图 11.37 所示。

（12）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（13）选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（14）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后

下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

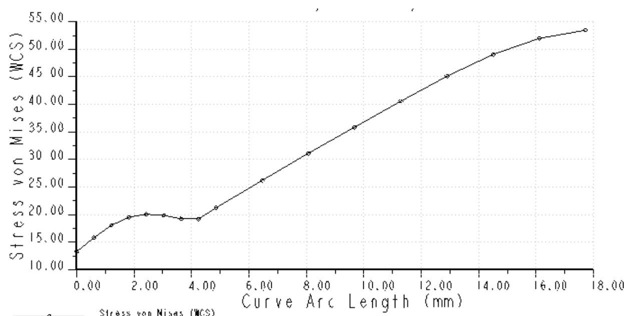


图 11.37　应力曲线图

（15）单击【图形位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模型阅览窗口，在窗口中选择活塞边线，如图 11.36 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（16）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形量曲线，如图 11.38 所示。

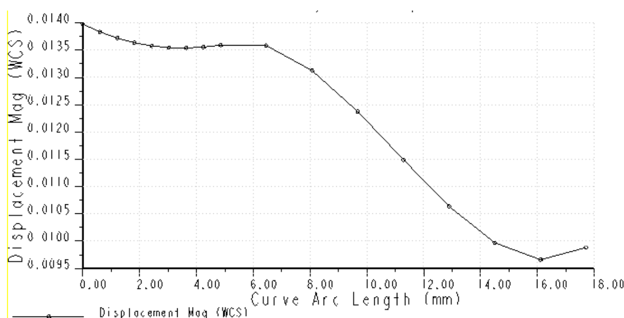


图 11.38　变形曲线

（17）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，完成静态分析。

2．模态分析

（1）退出结果显示窗口，返回“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建模态分析】命令，系统弹出“模态分析定义”对话框。

（2）选中【约束】列表框中的“ConstraintSet1”约束集选项，使其高亮显示。

（3）单击【模式】选项卡，点选【模式数】单选按钮，在【模式数】文本框中键入 5，【最小频率】文本框中键入 50。

（4）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中的【旋转】和【反作用】复选框。

（5）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成模态分析的创建。

（6）选中列表框中刚才创建的模态分析，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】

命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示模态分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的模态分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选中【研究选项】列表框中所有模式，选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项；

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项，单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（10）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，在结构窗口中显示模型的变形条纹图，如图 11.39 所示。

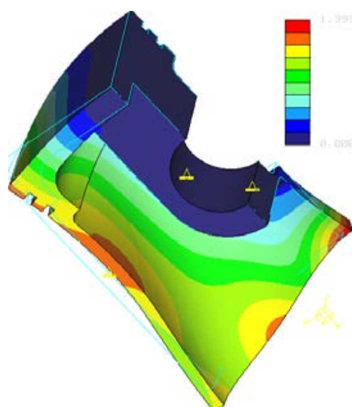


图 11.39　变形条纹图

（11）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（12）选中【研究选项】列表框中所有模式，选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（13）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

（14）单击【图形位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模型阅览窗口，在窗口中选择活塞边线，如图 11.36 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（15）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形量曲线，如图 11.40 所示。

（16）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，系统弹出“结果窗

口定义”对话框。

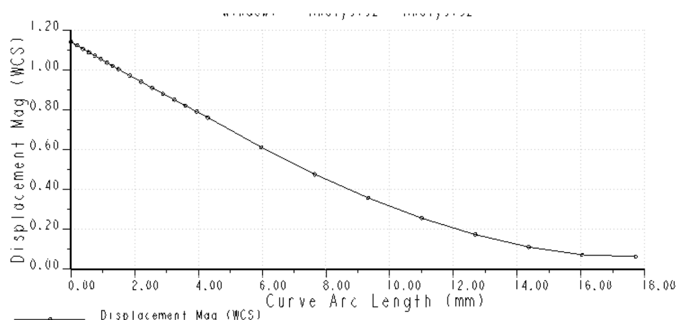


图 11.40　变形曲线

（17）选中【研究选项】列表框中所有模式，选择【显示类型】下拉列表框中的“Vectors”选项。

（18）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

（19）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形线框图，，如图 11.41 所示。

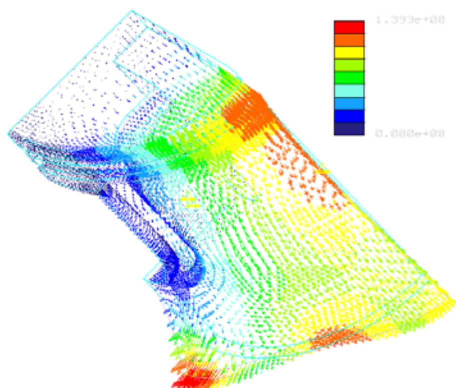


图 11.41　变形线框图

（20）退出结果窗口，返回“分析和设计研究”对话框，完成模态分析。

3．疲劳分析

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建疲劳分析】命令，系统弹出“疲劳分析定义”对话框。

（2）在【寿命】选项组中【所需强度】文本框中键入 107，选中【正在加载】下拉列表框中的“恒定振幅”选项，【振幅类型】下拉列表框中的“峰值-峰值”选项。

（3）在【输出】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8，勾选【计算安全系数】复选框。

（4）单击【前一分析】选项卡，选中【静态分析】下拉列表框中的“Analysis1”

选项，选中【载荷集】列表框中的“LoadSet1”载荷集选项。

（5）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，返回“分析和设计研究”对话框，完成疲劳分析的创建。

（6）选中列表框中刚才创建的疲劳分析，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出“提示询问”对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始计算，大约几十分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示疲劳分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的疲劳分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Fatigue”选项，选择【分量】下拉列表框中的“日志寿命”选项。

（10）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示寿命条纹图，如图 11.42 所示。

（11）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，单击【量】选项卡，选中【分量】下拉列表框中的“日志破坏”选项，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示破坏条纹图，如图 11.43 所示。

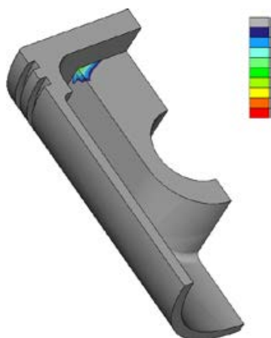


图 11.42　寿命条纹图

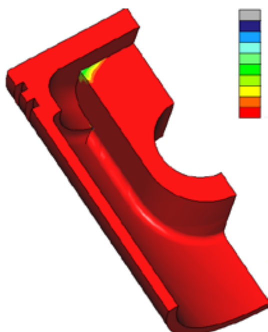


图 11.43　破坏条纹图

（12）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，单击【量】选项卡，选中【分量】下拉列表框中的“安全系数”选项，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示安全系数条纹图，如图 11.44 所示。

（13）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，单击【量】选项卡，选中【分量】下拉列表框中的“寿命置信度”选项，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示寿命置信度条纹图，如图 11.45 所示.。

（14）退出结果窗口，返回“分析和设计研究”对话框，完成疲劳分析。

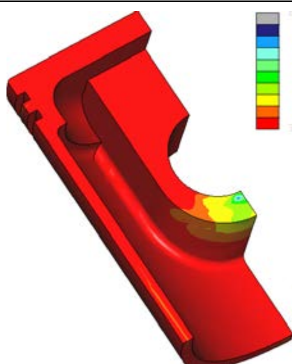


图 11.44 安全系数条纹图

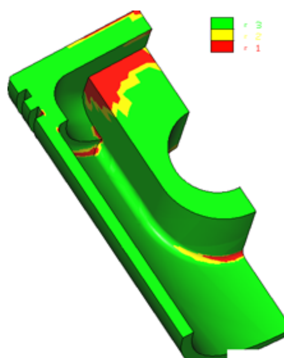


图 11.45　寿命置信度条纹图

11.2.3　热力学分析

活塞直接与高温气体接触，瞬时温度可达 2500K 以上，产生 18kW 的动力。因此，受热严重，热传导系数为 167W/m°C，散热条件差，所以活塞工作时温度很高，顶部高达 600～700K，且温度分布很不均匀。根据这些条件对其进行热力学分析。

1．创建热载荷

（1）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【Mechanica 模型设置（M）】命令，系统弹出“Mechanica 模型设置”对话框，在【模型类型】下拉列表框中选择“Thermal”选项，单击【确定】按钮，进入热力学分析平台。

（2）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【热载荷】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【热载荷（H）】命令，系统弹出“热载荷”对话框，如图 11.46 所示。

（3）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择活塞上表面，如图 11.47 所示。

（4）选择【分布】下拉列表框中的“Total Load”选项，在【Value】文本框中键入 18，选择其后下拉列表框中的“kW”选项。

（5）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成热载荷的定义。



图 11.46　“热载荷”对话框

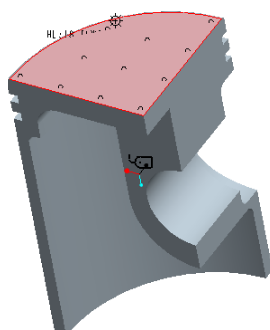


图 11.47　活塞上表面

2．设置边界条件

（1）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【规定温度】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【规定温度（P）】命令，系统弹出“规定温度”对话框，如图 11.48 所示。

（2）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择活塞上表面，如图 11.49 所示。

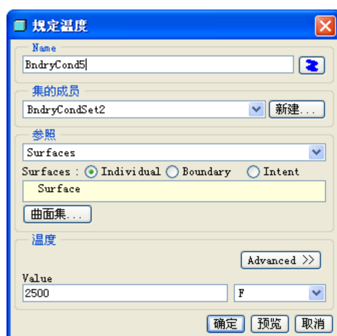


图 11.48 “规定温度”对话框

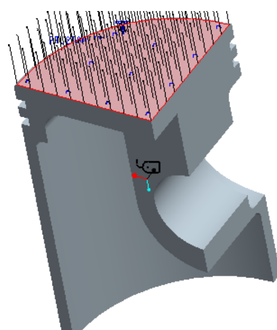


图 11.49 选取的曲面

（3）选择【温度】选项组中【Value】文本框中键入 2500，选择其后下拉列表框中的“F”单位选项。

（4）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成规定温度边界条件的定义。

（5）单击“Mechanica 对象”工具栏上的【对流条件】工具按钮，或选择菜单栏中的【插入（I）】→【对流条件（C）】命令，系统弹出“对流条件”对话框，如图 11.50 所示。



图 11.50 “对流条件”对话框

（6）选择【参照】下拉列表框中的“Surfaces”选项，在 3D 模型中选择所有模型表面。

（7）选择【对流系数（h）】选项组中【Spatial Variation】下拉列表框中的“Uniform”选项，在【Value】文本框中键入 167，选择其后下拉列表框中的“mW/(mm2℃)”选项。

（8）选择【体表温度（Tb）】选项组中【Spatial Variation】下拉列表框中的“Uniform”选项，在【Value】文本框中键入 700，选择其后下拉列表框中的“F”选项。

（9）单击【确定】按钮，完成规定温度边界条件的创建。

3．稳态热分析

（1）选择菜单栏中的【分析（A)】→【Mechanica 分析/研究（E)】命令，系统弹出“分析和设计研究”对话框。

（2）在“分析和设计研究对”话框中，选择菜单栏中的【文件（F)】→【新建稳态热分析】命令，系统弹出“稳态热分析定义”对话框。

（3）选中【约束】列表框中的“BndryCondSet2”约束集。

（4）选中【载荷】列表框中的“ThermLoadSet2”载荷集。

（5）单击【收敛性】选项卡，选中【方法】下拉列表框中的“单通道自适应”选项。

（6）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中【热通量】复选框，在【出图】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8。

（7）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成稳态热分析的创建，系返回“分析和设计研究”对话框。

（8）选中列表框中的稳态热分析，单击工具栏上的【开始】按钮，或选择菜单栏中的【运行（R)】→【开始】命令，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y)】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示稳态热分析过程以及分析出现的问题。

（9）在“分析和设计研究” 对话框中，选中列表框中稳态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框；

（10）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（11）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Temperature”选项，选择其后下拉列表框中的“C”温度单位选项。

（12）单击【显示选项】选项卡，勾选【连续色调】、【显示载荷】复选框。

（13）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 11.51 所示。

（14）选择菜单栏中的【编辑（E)】→【结果窗口（R)】命令，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（15）选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项，单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Temp Gradient”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

（16）单击【图形位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模

型阅览窗口，在窗口中选择活塞边线，如图 11.52 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

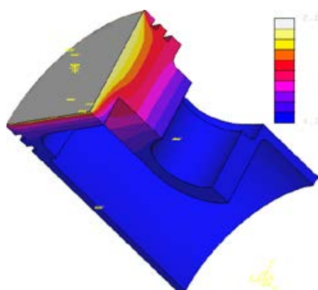


图 11.51　温度条纹图

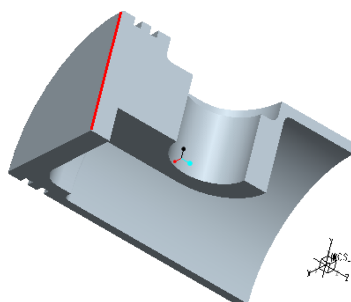


图 11.52　选取的活塞边线

（17）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示温度线框图，如图 11.53 所示。

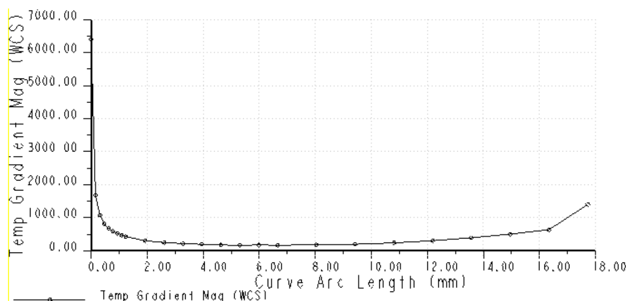


图 11.53　温度曲线

（18）退出结果窗口，系返回“分析和设计研究”对话框，完成稳态热分析。

4．瞬态热分析

（1）在“分析和设计研究对”话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建瞬态热分析】命令，系统弹出“瞬态热分析定义”对话框。

（2）选中【约束】列表框中的“BndryCondSet2”约束集。

（3）选中【载荷】列表框中的“ThermLoadSet2”载荷集。

（4）单击【温度】选项卡，选择【初始温度】选项组中【分布】下拉列表框中的“MecT”选项，选中【热分析】下拉列表框中的“Analysis4”选项，选中【载荷集】列表框中的“ThermLoadSet2”载荷集选项。

（5）单击【收敛性】选项卡，选中【方法】下拉列表框中“单通道自适应”选项。

（6）单击【输出】选项卡，勾选【计算】选项组中【热通量】复选框，在【出图】选项组中【绘制网格】微调框中键入 8。

（7）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，完成瞬态热分析的创建，系返回“分析和设计研究”对话框。

（8）选中列表框中的瞬态热分析，单击工具栏上的【开始】按钮，或选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示瞬态热分析过程以及分析出现的问题。

（9）在“分析和设计研究” 对话框中，选中列表框中瞬态热分析，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具按钮，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（10）选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（11）单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Neasure”选项，单击【选取测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，在【预定义】列表框中选择“max_dyn_temperature”选项，单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（12）选中【图形位置】下拉列表框中的“Time”选项。

（13）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，效果如图 11.54 所示。

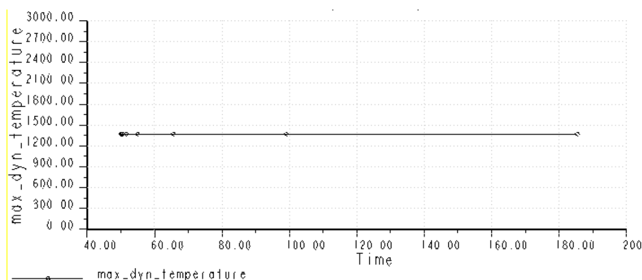


图 11.54　温度曲线

（14）退出结果窗口，系返回“分析和设计研究”对话框，完成瞬态热分析。

11.3　优化设计

优化设计研究是结构分析的精髓。它是分析的最终阶段，前面的分析是为优化设计研究做准备。优化设计研究是，通过给定参数范围，综合前面分析的结果优化计算出最佳选项。使产品更加完美、更符合设计目标。标准设计研究是对模型中尺寸对模型应力、变形等影响程度分析研究，得到敏感性的尺寸，然后，通过敏感度研究得到影响模型应力、变形等参数的尺寸范围，最后通过优化设计研究得到最佳合理的尺寸。

11.3.1　标准设计研究

（1）在“分析和设计研究”对话框中，选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建标准设计研究】命令，系统弹出“标准研究定义”对话框，如图 11.55 所示。

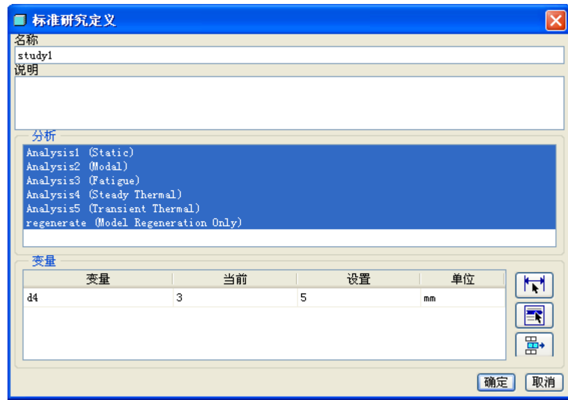


图 11.55 “标准研究定义”对话框

（2）选中【分析】列表框中所有分析，单击【变量】列表框右侧的【从模型中选取参数】按钮，系统弹出“选取”对话框。

（3）在工作区中选中 3D 模型，然后选中活塞厚度 3，如图 11.56 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“标准研究定义”对话框。

（4）在【变量】列表框中设置文本框中键入 5，单击【确定】按钮，系返回“分析和设计研究”对话框，完成标准设计研究的建立。

（5）选中列表框中刚才创建的标准设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示标准设计研究分析过程以及分析出现的问题。

（6）关闭“诊断”对话框，系返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的标准设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（7）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（8）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项，单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（9）其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形条纹图，如图 11.57 所示。

（10）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，系统弹出“结果窗口定义”对话框，单击【量】选项卡，选择下拉列表框中的“Stress”选项，选择其后下拉列表框中的“MPa”选项，选择【分量】下拉列表框中的“von Mises”选项，其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示应力变化条纹图，如图 11.58 所示。

（11）选择菜单栏中的【编辑（E）】→【结果窗口（R）】命令，系统弹出“结果窗

口定义”对话框，选择【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

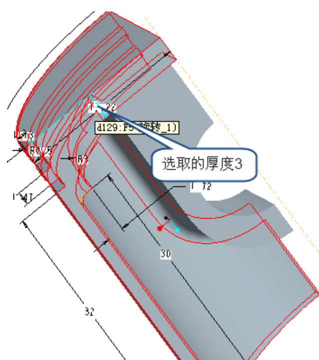


图 11.56　选取的厚度尺寸

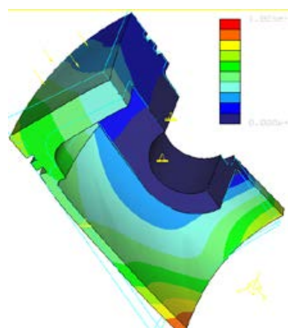


图 11.57　变形条纹图

（12）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项。

（13）单击【图形位置】选项组中【选取】按钮，系统弹出“选取”对话框和模型预览窗口，在窗口中选择活塞半径边线，如图 11.59 所示，单击“选取”对话框中的【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

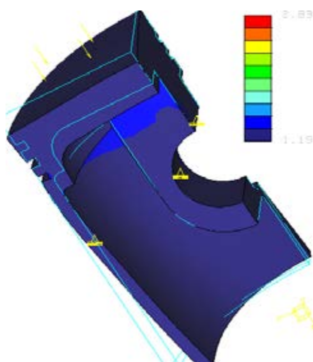


图 11.58　应力变化条纹图

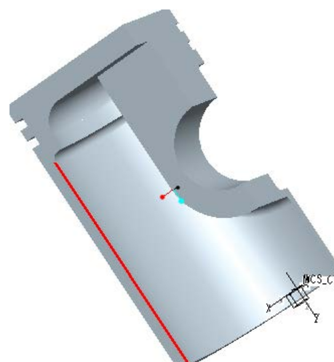


图 11.59　选取的测量边线

（14）其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形曲线，如图 11.60 所示。

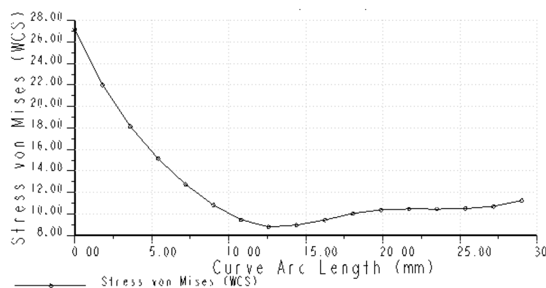


图 11.60　边线曲线

（15）退出结果窗口，系返回“分析和设计研究”对话框，完成标准设计研究。

11.3.2　敏感度设计研究

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建敏感度设计研究】命令，系统弹出“敏感度研究定义”对话框，如图 11.61 所示。

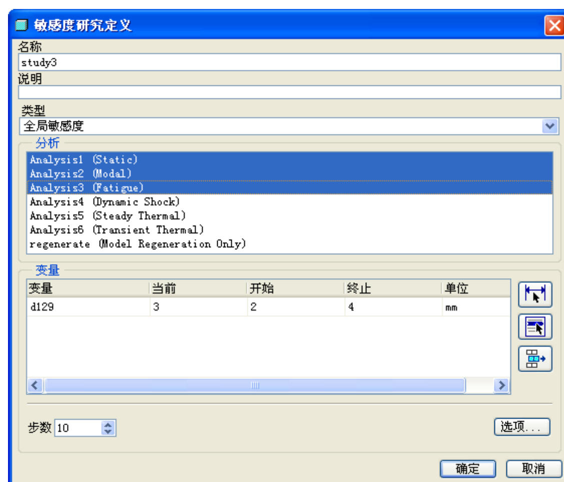


图 11.61　“敏感度研究定义”对话框

（2）选中【分析】列表框中的“Analysis1、Analysis2 和 Analysis3”静态分析、模态分析和疲劳分析，使其高亮显示。

（3）单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，在 3D 模型中选中活塞，使其尺寸全部显示，双击活塞厚度尺寸 3，系统自动返回。

（4）单击右下角【选项】按钮，系统弹出“设计研究选项”对话框，勾选【重复 P 还收敛】和【每次形状更新后进行网格重划】复选框，单击【关闭】按钮，返回“敏感度设计研究定义”对话框。

（5）单击【确定】按钮，系返回“分析和设计研究”对话框，完成敏感度设计研究的创建。

（6）选中列表框中刚才创建的敏感度设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统就开始计算，大约二十几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示敏感度设计研究分析过程以及分析出现的问题。

（7）关闭“诊断”对话框，系返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的敏感度设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（8）选中【显示类型】下拉列表框中的“Graph”选项。

（9）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Measure”选项，单击【测量】按钮，系统弹出“测量”对话框，选中【预定义】列表框中的“max_stress_vm”选项，单击【确定】按钮，返回“结果窗口定义”对话框。

（10）其他选项为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示最大应力随活塞厚度变化曲线，如图 11.62 所示。

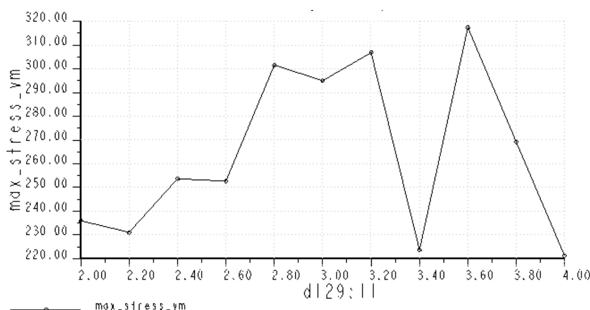


图 11.62　应力随厚度变化曲线

（11）退出结果窗口，系返回“分析和设计研究”对话框，完成敏感度设计研究。

11.3.3　优化设计研究

要求：模型内部最大应力不超过 95MPa，同时做到材料的节省。

（1）选择菜单栏中的【文件（F）】→【新建优化设计研究】命令，系统弹出“优化研究定义”对话框，如图 11.63 所示。

（2）选择【类型】下拉列表框中的“优化”选项。

（3）单击【设计极限】列表框右侧按钮，系统弹出“测量”对话框，在【预定义】列表框中的“max_stress_vm”选项，单击【确定】按钮，返回“优化研究定义”对话框。

（4）在【设计极限】列表框中【值】文本框中键入 95，单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，选中 3D 模型中的活塞，使其尺寸全部显示，双击活塞厚度尺寸 3，系统自动返回。

（5）单击【变量】右侧的【从模型中选取尺寸】按钮，系统弹出“选取”对话框，选中 3D 模型中的活塞，使其尺寸全部显示，双击活塞桶厚度尺寸 1.5，系统自动返回。

（6）其他选项为系统默认值，单击【确定】按钮，系返回“分析和设计研究”对话框，完成优化设计研究的创建。

（7）选中列表框中刚才创建的优化设计研究，选择菜单栏中的【运行（R）】→【开

始】命令，或单击工具栏上的【开始】按钮，系统弹出提示询问对话框，单击【是（Y）】按钮，系统开始计算，大约几分钟以后，系统弹出“诊断”对话框，对话框中显示优化设计研究分析过程以及分析出现的问题。

（8）关闭“诊断”对话框，系返回“分析和设计研究”对话框，选中列表框中刚才创建的优化设计研究，单击工具栏上的【查看设计研究或有限元分析结果】工具，系统弹出“结果窗口定义”对话框。

（9）选择【显示类型】下拉列表框中的“Fringe”选项。

（10）单击【量】选项卡，选中下拉列表框中的“Displacement”选项，选择其后下拉列表框中的“mm”选项，选择【分量】下拉列表框中的“Magnitude”选项，单击【显示选项】选项卡，勾选【已变形】、【显示载荷】和【显示约束】复选框。

（11）其他选择为系统默认值，单击【确定并显示】按钮，结果窗口中显示变形与活塞厚度变化条纹图，如图 11.64 所示。

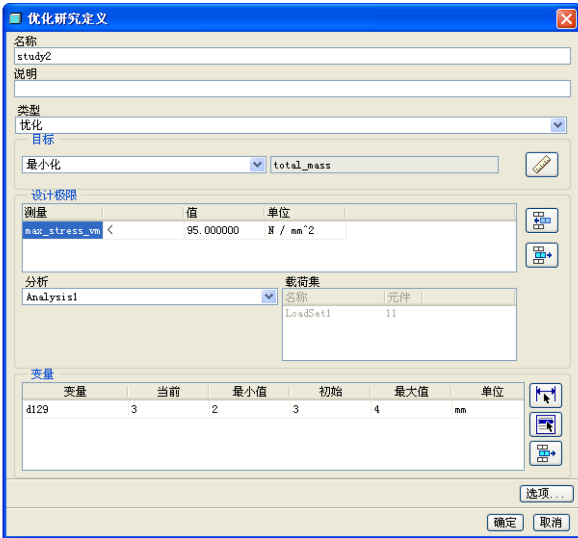


图 11.63　“优化研究定义”对话框

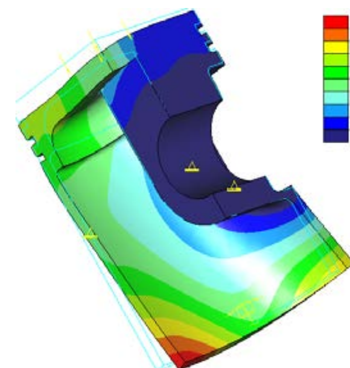


图 11.64　变形与活塞厚度变化条纹图

（12）退出结果窗口，完成优化设计分析。

11.3.4　升级模型

（1）在“分析和设计研究”对话框中，选中列表框中的优化设计研究选项，选择菜单栏中的【信息（T）】→【优化历史】命令，系统弹出消息输入窗口，如图 11.65 所示，在文本框中键入“Y”，单击【完成】按钮。

（2）系统又弹出消息输入窗口，继续在文本框中键入“Y”，单击【完成】按钮，重复几步后，模型就升级为优化设计后的模型，如图 11.66 所示。

（3）关闭“分析和设计研究”对话框，选择菜单栏中的【分析（A）】→【测量】

→【距离】命令，系统弹出“距离”对话框，在 3D 模型中选择活塞的上下边线，测量结果如图 11.67 所示。

（4）关闭“距离”对话框，保存模型，完成模型的优化设计。

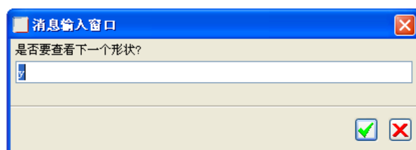


图 11.65　消息输入窗口

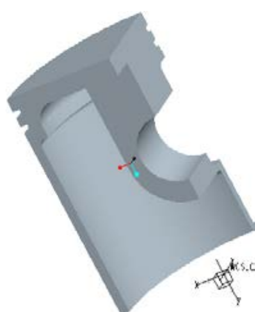


图 11.66　优化后的模型

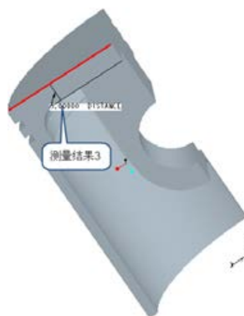


图 11.67　测量厚度

Pro / ENGINEER Wildfire 5.0

Pro / ENGINEER Wildfire 5.0

动力学与有限元分析从入门到精通

计算机辅助分析(CAE)系列

- 本书共分为三篇11章，从软件的基本操作讲起，再进一步介绍各种分析机构的建立、分析和优化设计，然后结合具体实例，讲解了各种工具的使用方法和操作步骤，最后通过综合实例，强化读者对Pro / ENGINEER Wildfire 5.0的基本操作、基本技能的掌握和理解。

- 本书可作为机械设计技术人员学习基于Pro / ENGINEER Wildfire 5.0进行机械结构有限元分析的入门与实践的书籍，也可作为大专院校机械类专业学生的教材或教学参考书。

- 本书结合内容讲解和读者学习的需要，在光盘中配置了大量实例源文件以及相关的视频讲解内容，对本书中的各个重要实例进行了针对性讲解，便于读者掌握实例操作的流程和技巧。

读者对象

- 机械工程技术人员
- 大中专院校学生
- 结构与动力学分析研究人员

责任编辑：曲彩云
封面设计：熊　慧

上架指导：计算机→CAD/CAM/CAE

编辑热线：（010）88379782 ISBN 978-7-111-29405-4

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版



定价：56.00（含1DVD视频语音教学光盘）